



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

**TÍTOL: CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE
TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT
POWERWORLD**

AUTORS: MURCIA CATALAN, ALBERT

DATA DE PRESENTACIÓ: Juny, 2019

COGNOMS:

NOM:

TITULACIÓ:

PLA:

DIRECTOR:

DEPARTAMENT:

QUALIFICACIÓ DEL TFG

TRIBUNAL

PRESIDENT

SECRETARI

VOCAL

Marcel Torrent

DATA DE LECTURA: 02/07/2019

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: ☐ Sí ☒ No

RESUM

El present projecte té per objectiu instruir en la simulació de curtcircuit mitjançant el programa PowerWorld Simulator. Això servirà com a complement dels estudiants de l'assignatura SIEP (Sistemes Elèctrics de Potència), ja que l'apartat de curtcircuits no es dona en profunditat degut a la seva complexitat i al poc temps disponible. Amb coneixements del programa, els estudiants podran validar fàcilment els resultats dels exercicis fets a classe.

Primerament, es realitzarà la explicació de totes les funcions del PowerWorld a través dels botons de la interfície d'usuari. Tot seguit, es durà a terme la construcció d'un SEP (Sistema Elèctric de Potència) fictici, que permeti il·lustrar i ensenyar els diferents passos a seguir per tal de realitzar les simulacions correctament. A més a més, també es procedirà a realitzar el mateix procediment per a MATLAB Simulink, explicant-ho d'una manera més breu. Posteriorment es realitzarà una comparació, la funció de la qual ajudi a escollir entre un d'aquests dos programes en funció de la situació.

Per acabar, s'afegiran dos annexes destinats a l'ajut durant l'aprenentatge dels estudiants.

El primer estarà format per una pràctica de simulació de curtcircuits per a que l'estudiant pugui posar en pràctica el que s'ha après durant la guia.

La segona, en canvi, servirà com a reforç del document, sent una guia audiovisual dels passos a seguir en la construcció d'un SEP i durant la simulació de flux de potència i curtcircuit.

Paraules clau (màxim 10):

PowerWorld	SEP	Curtcircuit	Falta
Simulació	Simulink	Manual	

ABSTRACT

The objective of this project is to instruct in the simulation of short-circuits using PowerWorld Simulator. This will be useful to complement the subject of SIEP (Electrical Power Systems), due to the complexity of this topic and lack of time to learn it. With knowledge about this program, students will be able to validate with ease the exercises done at home.

First of all, the explanation of every function in PowerWorld will be done. Next, in order to help and teach on how to do the simulations correctly, the construction of a brand new case will be done, with a step by step description. Also, the same steps will be done in MATLAB Simulink, with a brief explanation, following by a comparison between the two programs used, in order to help decide in which to choose in every situation.

Lastly, two annexes will be added, intended for an extra help during the guide.

The first of them will be a short-circuit simulation exercise so that the student can apply the knowledge learnt through the guide.

The second one will serve as a reinforcement, being an audiovisual guide of the steps to follow in order to construct an Electrical Power System and to execute power flow and short-circuit simulations.

Keywords (10 maximum):

Power	Flow	Short-Circuit	Fault
Simulation	PowerWorld	Simulink	Guide
Electrical	System		

SUMARI

1 INTRODUCCIÓ.....	8
1.1 ANTECEDENTS.....	8
1.2 OBJECTIUS.....	9
1.2.1 OBJECTIUS GENERALS.....	9
1.2.2 OBJECTIUS ESPECÍFICS.....	9
2 POWERWORLD.....	10
2.1 INTRODUCCIÓ AL POWERWORLD.....	10
2.2 VERSIÓ POWERWORLD.....	11
2.3 INTERFÍCIE D'USUARI.....	11
2.3.1 PESTANYA "CASE INFORMATION"	14
2.3.2 PESTANYA "DRAW"	15
2.3.3 PESTANYA "ONELINES".....	18
2.3.4 PESTANYA "TOOLS".....	20
2.3.5 PESTANYA "OPTIONS".....	23
2.3.6 PESTANYA "ADD ONS".....	25
2.3.7 PESTANYA "WINDOW".....	27
2.4 CREACIÓ D'UN CAS NOU.....	30
2.4.1 DADES.....	31
2.4.2 DEFINIR POTÈNCIA BASE.....	32
2.4.3 INSERCIÓ D'ELEMENTS.....	33
2.4.3.1 Busos.....	34
2.4.3.2 Càrregues.....	36
2.4.3.3 Generadors.....	37
2.4.3.4 Línies.....	39
2.4.3.5 Transformadors.....	41
2.4.3.6 Condensadors Sèrie/Paral·lel.....	43
2.4.4 INSERCIÓ D'ETIQUETES.....	44

2.5 SIMULACIÓ DE FLUX DE POTÈNCIA.....	45
2.5.1 PRESENTACIÓ GRÀFICA.....	46
2.5.2 PRESENTACIÓ EN MODE TEXT.....	49
2.6 SIMULACIÓ DE FALTES.....	51
2.6.1 EXPLICACIÓ DE LA INTERFÍCIE.....	51
2.6.2 DEFINICIÓ DELS PARÀMETRES DE CURTCIRCUIT.....	55
2.6.3 CÀLCUL DE FALTES A UN BUS.....	59
2.6.4 CÀLCUL DE FALTES A UNA LÍNIA.....	62
2.6.5 OBTENCIÓ DE RESULTATS GRÀFICS.....	63
3 SIMULACIÓ DE FALTES EN SIMULINK.....	65
3.1 VERSIÓ MATLAB I SIMULINK.....	65
3.2 INTERFÍCIE D'USUARI NECESSÀRIA.....	65
3.3 CREACIÓ DEL SISTEMA ELÈCTRIC DE POTÈNCIA.....	67
3.3.1 INSERCIÓ D'ELEMENTS.....	67
3.3.2 MODIFICACIÓ I UNIÓ D'ELEMENTS.....	70
3.3.3 INSERCIÓ DE LA FALTA.....	71
3.4 SIMULACIÓ I OBTENCIÓ DELS RESULTATS.....	73
3.4.1 PASSOS GENERALS.....	73
3.4.2 SIMULACIÓ A SIMULINK.....	74
3.4.3 SIMULACIÓ A TRAVÉS D'UN SCRIPT DE MATLAB.....	74
3.4.3.1 Simulink.....	75
3.4.3.2 Script.....	76
3.5 ANÀLISI DELS RESULTATS.....	77
CONCLUSIONS.....	79
AGRAÏMENTS.....	80
BIBLIOGRAFIA.....	81
ANNEX 1: PRÀCTICA DE SIMULACIÓ DE FALTES EN POWER WORLD.....	82
ANNEX 2: VIDEOGUIA DE POWERWORLD SIMULATOR.....	87

SUMARI DE FIGURES

FIGURA 1. PANTALLA D'INICI DE POWERWORLD	11
FIGURA 2 DESPLEGABLE "FILE".	12
FIGURA 3 SELECCIÓ DE MODE.	12
FIGURA 4 PESTANYES POWERWORLD.	13
FIGURA 5 PESTANYA "CASE INFORMATION".	14
FIGURA 6 SECCIÓ "CASE INFORMATION".	14
FIGURA 7 SECCIÓ "CASE DATA".	14
FIGURA 8 SECCIÓ "VIEWS".	15
FIGURA 9 PESTANYA "DRAW".	15
FIGURA 10 SECCIÓ "QUICK INSERT".	16
FIGURA 11 SECCIÓ "INDIVIDUAL INSERT".	16
FIGURA 12 SECCIÓ "SELECT".	17
FIGURA 13 SECCIÓ "FORMATTING".	17
FIGURA 14 SECCIÓ "CLIPBOARD".	18
FIGURA 15 SECCIÓ "ZOOM".	18
FIGURA 16 PESTANYA "ONELINES".	18
FIGURA 17 SECCIÓ "ACTIVE".	18
FIGURA 18 SECCIÓ "GENERAL OPTIONS".	19
FIGURA 19 PESTANYA "TOOLS".	20
FIGURA 20 SECCIÓ "LOG".	20
FIGURA 21 SECCIÓ "POWER FLOW TOOLS".	20
FIGURA 22 DESPLEGABLE "SOLVE".	21
FIGURA 23 DESPLEGABLE "RESTORE".	21
FIGURA 24 SECCIÓ "RUN MODE".	21
FIGURA 25 SECCIÓ "OTHER TOOLS".	22
FIGURA 26 SECCIÓ "EDIT MODE".	22
FIGURA 27 PESTANYA "OPTIONS".	23
FIGURA 28 SECCIÓ "CASE OPTIONS".	23
FIGURA 29 SECCIÓ "ONELINE OPTIONS".	24
FIGURA 30 SECCIÓ "GENERAL OPTIONS".	24
FIGURA 31 SECCIÓ "LOG".	25
FIGURA 32 PESTANYA "ADD ONS".	25
FIGURA 33 SECCIÓ "OPTIMAL POWER FLOW (OPF)".	26
FIGURA 34 SECCIÓ "PV AND QV CURVES (PVQV)".	26
FIGURA 35 SECCIÓ "ATC".	26
FIGURA 36 SECCIÓ "TRANSIENT STABILITY (TS)".	27
FIGURA 37 PESTANYA "WINDOW"	27
FIGURA 38 SECCIÓ "WINDOW".	27
FIGURA 39 SECCIÓ "HELP".	28
FIGURA 40 SECCIÓ "AUXILIARY FILES".	28
FIGURA 41 SENYALITZACIÓ SIMULATOR OPTIONS.	32
FIGURA 42 REQUADRE CANVI POTÈNCIA BASE.	33
FIGURA 43 FINESTRA DADES BUS.	34
FIGURA 44 PESTANYA DISPLAY BUS.	35
FIGURA 45 FINESTRA DADES CÀRREGA.	36
FIGURA 46 FINESTRA DADES GENERADORS.	37
FIGURA 47 FINESTRA DADES LÍNIA.	39
FIGURA 48 GRÀFIC CIRCULAR LÍNIA.	40
FIGURA 49 FINESTRA OPCIONS GRÀFIC CIRCULAR.	40
FIGURA 50 FINESTRA DADES TRANSFORMADOR.	41
FIGURA 51 PESTANYA TRANSFORMER CONTROL.	42
FIGURA 52 FINESTRA OPCIONS CONTROL DE TRANSFORMADOR.	43
FIGURA 53 FINESTRA DADES BATERIA DE CONDENSADORS.	44
FIGURA 54 FINESTRA INSERCIÓ D'ETIQUETA A UN BUS.	45
FIGURA 55 FINESTRA OPCIONS DE VISUALITZACIÓ.	46

FIGURA 56	FINESTRA OPCIONS ANIMACIÓ DE FLUX.	47
FIGURA 57	FINESTRA OPCIONS VISUALITZACIÓ DIAGRAMES CIRCULARS.	47
FIGURA 58	VISUALITZACIÓ DEL FLUX RESOLT EN DIAGRAMA UNIFILAR.	49
FIGURA 59	VISUALITZACIÓ DEL FLUX RESOLT ESPECÍFICAMENT EN EL BUS 1.	50
FIGURA 60	ESPECIFICACIÓ BOTÓ POWER FLOW LIST.	50
FIGURA 61	VISUALITZACIÓ DELS RESULTATS EN MODE TEXT.	51
FIGURA 62	VISUALITZACIÓ DELS RESULTATS EN MODE TEXT AL MODEL EXPLORER.	51
FIGURA 63	VISUALITZACIÓ DEL RESUM DEL CAS.	52
FIGURA 64	FINESTRA DEDICADA A FALTES.	53
FIGURA 65	SELECCIÓ DE L'ELEMENT AL QUAL ES VOL APLICAR LA FALTA.	53
FIGURA 66	OPCIONES DE FALTA INDIVIDUAL.	54
FIGURA 67	SELECCIÓ DE L'ELEMENT AL QUAL APLICAR LA FALTA EN EL MODE DE FALTA INDIVIDUAL.	55
FIGURA 68	TAULA DE RESULTATS DE FALTA.	55
FIGURA 69	OPCIONES DE CÀLCUL DE FALTA.	55
FIGURA 70	PESTANYA PARÀMETRES DE FALTA D'UN GENERADOR.	58
FIGURA 71	PESTANYA PARÀMETRES DE FALTA D'UNA LÍNIA.	59
FIGURA 72	PESTANYA PARÀMETRES DE FALTA D'UN TRANSFORMADOR.	59
FIGURA 73	PESTANYA D'INSERCIÓ D'IMPEDÀNCIES SEQÜENCIALS COMÚ.	60
FIGURA 74	SELECCIÓ D'UN BUS PER CALCULAR FALTA, PESTANYA FAULT DEFINITIONS.	60
FIGURA 75	SELECCIÓ DEL TIPUS DE FALTA, PESTANYA FAULT DEFINITIONS.	61
FIGURA 76	SELECCIÓ D'OPCIONES DE PRE FALTA.	61
FIGURA 77	TAULA DE RESULTATS DE FALTA, PESTANYA FAULT DEFINITIONS.	61
FIGURA 78	SELECCIÓ DE FALTA A UN BUS, PESTANYA SINGLE FAULT.	62
FIGURA 79	OPCIONES DE FALTA, PESTANYA SINGLE FAULT.	62
FIGURA 80	RESULTATS SIMULACIÓ FALTA BUS, PESTANYA SINGLE FAULT.	63
FIGURA 81	SELECCIÓ D'UNA LÍNIA PER CALCULAR FALTA, PESTANYA FAULT DEFINITIONS.	63
FIGURA 82	OPCIONES DE FALTA, PESTANYA FAULT DEFINITION.	63
FIGURA 83	SELECCIÓ DE FALTA A UNA LÍNIA, PESTANYA SINGLE FAULT.	64
FIGURA 84	OPCIONES DE FALTA, PESTANYA SINGLE FAULT.	64
FIGURA 85	RESULTATS GRÀFIC SIMULACIÓ DE FALTES.	65
FIGURA 86	BOTÓ ACCÉS SIMULINK.	66
FIGURA 87	CREACIÓ CAS EN BLANC SIMULINK.	67
FIGURA 88	INTERFÍCIE SIMULINK.	67
FIGURA 89	LLIBRERIA SIMULINK.	68
FIGURA 90	APARTAT ELECTRICAL SOURCES LLIBRERIA.	69
FIGURA 91	APARTAT ELEMENTS LLIBRERIA.	69
FIGURA 92	APARTAT MEASUREMENTS LLIBRERIA.	70
FIGURA 93	APARTAT SINKS LLIBRERIA.	70
FIGURA 94	PARÀMETRES GENERADOR.	71
FIGURA 95	CAS SIMULINK SENSE FALTA.	72
FIGURA 96	CAS SIMULINK AMB FALTA.	73
FIGURA 97	PARÀMETRES FALTA.	73
FIGURA 98	PARÀMETRES CONFIGURACIÓ SIMULINK.	74
FIGURA 99	PARÀMETRES BLOC POWERGUI	75
FIGURA 100	PARÀMETRES BLOC TO WORKSPACE.	76
FIGURA 101	REPRESENTACIÓ BLOC CLOCK MÉS BLOC TO WORKSPACE.	77
FIGURA 102	SCRIPT EXECUCIÓ.	77
FIGURA 103	BOTÓ RUN SCRIPT.	78
FIGURA 104	GRÀFICS RESULTATS.	78
FIGURA 105	ESTADÍSTIQUES GRÀFICS RESULTATS	79

1. INTRODUCCIÓ

1.1 ANTECEDENTS

En un món en constant evolució com en el que vivim, l'ús de l'electricitat és cada vegada més extens. Degut a la possibilitat de transformar la energia elèctrica en qualsevol altre tipus d'energia d'una forma generalment senzilla, l'electricitat s'ha convertit en un dels pilars de la cultura actual. És a conseqüència d'això que va sorgir la necessitat de transportar-la i repartir-la a través de totes llars dels pobles i ciutats i, d'aquesta manera, es van formar els Sistemes Elèctrics de Potència (SEP).

Inicialment, els SEP eren simples, ja que era poca la gent que es podia permetre tenir aparells que requerissin electricitat. El seu estudi era senzill i no es requerien càlculs gaire complicats.

Amb el temps, l'aparellatge elèctric es va anar abaratint i els SEP es van haver d'anar adaptant a les necessitats dels consumidors, originant en ocasions xarxes derivades per a donar suport a la principal. Però molts cops no va ser així, i les sobrecàrregues de les línies van reduir dràsticament la eficiència d'aquestes. Això va alarmar a les companyies i institucions que se'n feien càrrec, que van veure la necessitat de realitzar un millor estudi del flux de càrregues. Aleshores, el problema va ser que els SEP eren molt més complexos que als seus inicis i el seu estudi molt més complicat. En molts casos inclús es tractava de sistemes no lineals, dificultant encara més el procés.

L'estudi dels corrents de curtcircuit és un cas lleugerament diferent. Els curtcircuits no són un fenomen que es pugui predir amb exactitud, sent inclús a vegades completament el contrari: imprevisibles. Les conseqüències que un curtcircuit no estudiat pot tenir a la xarxa elèctrica poden ser devastadores, sent el pitjor dels casos un "Blackout". Així, les mateixes companyies i institucions van veure la necessitat de simular aquests curtcircuits, intentant així minimitzar les conseqüències negatives que podien tenir aquests. D'aquesta manera, es crearien línies d'alimentació alternatives i, mitjançant simulacions, s'estudiaria el corrent que hi circula per aquestes quan les altres línies estan inactives. Això provoca un canvi en el corrent que han de poder suportar les línies, canviant així diversos criteris de disseny d'aquestes. El problema, com en el cas del flux de càrregues, va ser que els càlculs que s'havien de dur a terme en aquests casos també eren d'un alt nivell de dificultat.

Quan la tecnologia ho va permetre, ja fos per evitar pèrdues i/o garantir la qualitat del servei als consumidors, van sorgir diferents tipus de programes. Uns d'ells servien per calcular fluxos de potència i altres per estudiar casos de curtcircuit. Alguns inclús combinaven els dos.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

En aquest treball s'utilitzarà PowerWorld, que és un d'aquests programes. Actualment permet realitzar càlculs de flux de càrregues, de curtcircuits així com de despatx econòmic, entre d'altres. Presenta diferents avantatges, com ara la seva interfície d'usuari, que és força intuïtiva i fàcil d'entendre, podent inclús servir per a mostrar/instruir com funciona un SEP a persones amb coneixements limitats en aquesta matèria.

1.2 OBJECTIUS

1.2.1 OBJECTIUS GENERALS

En aquest treball es pretén complementar les pràctiques realitzades a l'assignatura de Sistemes Elèctrics de Potència (SIEP), desenvolupant diferents pràctiques i simulacions en PowerWorld que serveixin per a instruir als futurs estudiants d'aquesta matèria. Per això, el treball es trobarà en format de guia d'usuari, permetent així un millor seguiment per part del lector.

L'objectiu principal és centrar-se en les simulacions de curtcircuit, però per això primer és deguda una explicació del programa en sí i de les simulacions de flux de càrregues.

1.2.2 OBJECTIUS ESPECÍFICS

- Introduir al programa PowerWorld.
- Realitzar un manual d'usuari per a simulacions de flux de càrregues.
- Realitzar un manual d'usuari per a simulacions de curtcircuit.
- Comparar els resultats obtinguts amb altres programes.
- Realitzar pràctiques de simulació que serveixin com a complement per als estudiants de SIEP.

2. POWERWORLD

2.1 INTRODUCCIÓ AL POWERWORLD

Com ja s'ha esmentat anteriorment, la resolució dels circuits que representen els SEP són força complicats i laboriosos. Degut a això, i amb la evolució de la tecnologia, es va veure la necessitat d'utilitzar programes de simulació de SEP per tal de simplificar aquesta tasca per als enginyers.

PowerWorld Simulator és un programa de simulació de SEP que ens permet resoldre problemes complicats a través d'una interfície gràfica d'usuari força intuïtiva.

Un dels tipus de simulació més útils és el de flux de potència. Aquest ens permetrà conèixer tots els paràmetres del nostre SEP (tensions, pèrdues, potències subministrades/consumides, entre d'altres). Gràcies als resultats obtinguts, es podran obtenir criteris precisos per tal de dur a terme el disseny del SEP amb els seus elements. Si s'utilitza l'eina correctament es podrà conèixer quin serà el valor de la sobrecàrrega que hauran de poder suportar els elements, les preses de regulacions a les que s'hauran de connectar els transformadors si es vol aconseguir certa tensió en un Bus del sistema, potència de condensadors necessària a connectar en algun punt del circuit si es vol contrarestar la caiguda de tensió, així com molts altres paràmetres i situacions.

A part d'una simulació de flux de potència estacionària, PowerWorld també permet simular un flux de potència en el que alguna de les dades va variant amb el temps. El cas més comú seria en el que una de les càrregues és la variable, o fins i tot més d'una. També es pot tenir en compte la connexió i la desconnexió d'algun element del circuit.

Les simulacions de curtcircuit es duen a terme per a tal de saber els corrents màxims i mínims de curtcircuit i, d'aquesta manera, poder dimensionar tant les línies com els interruptors automàtics i/o relés en concordança amb aquests.

Un dels requisits principals per a poder dur a terme aquestes simulacions és la correcta introducció de dades. Aquestes dades van des de les impedàncies de les línies i les connexions entre Busos fins a d'altres més complexes, com podrien ser la conductància magnetitzant o la impedància del terra. Cal a dir que algunes de les dades no seran sempre necessàries, ja que poden no influir en alguns tipus de simulació.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

2.2 VERSIÓ POWERWORLD

La versió utilitzada en aquest manual d'usuari és PowerWorld Simulator 20, sent la versió d'ús gratuït la que utilitzarem per mostrar els exemples i resultats. La única limitació significativa d'aquesta versió en respecte a la versió de pagament és el nombre màxim de busos: 13, mentre que en la versió completa s'hi poden utilitzar fins a 250.000.

Pels objectius d'aquest treball, 13 busos són suficients.

Els requisits del sistema per a utilitzar aquest programa no estan especificats en la pàgina web oficial. Per tal de realitzar aquest treball ha estat provat en Windows XP/7/10 sense cap problema. Les característiques del sistema amb menys especificacions eren les dels ordinadors de l'escola EPSEVG.

2.3 INTERFÍCIE D'USUARI

A l'iniciar el programa, es veurà una pantalla similar a la de la figura 1.

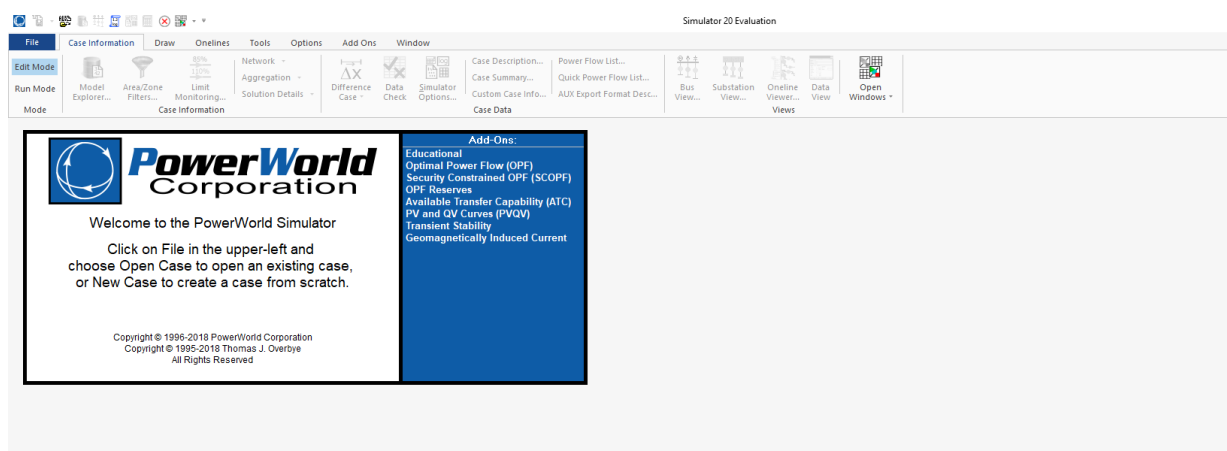


Figura 1. Pantalla d'inici de PowerWorld

En aquesta pantalla, la major part de les opcions es troben deshabilitades. Això és degut a que és necessari obrir una simulació existent o crear-ne una de nova. Per això, s'ha de fer clic a "File" (marge superior esquerre) i, posteriorment, a "Open Case..." o "New Case".

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

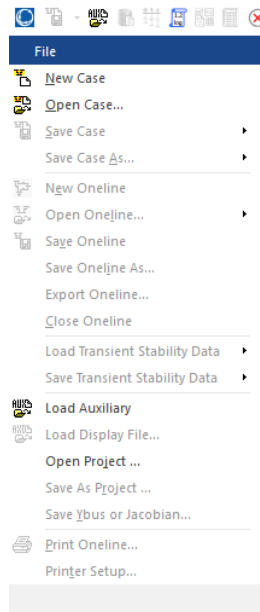


Figura 2 Desplegable "File".

Fet això, ja podem accedir a tots els menús, els que es procediran a descriure a continuació.

Un dels conceptes bàsics del programa PowerWorld és la distinció entre el mode d'edició o "Edit Mode" i el mode d'execució o "Run Mode".

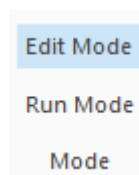


Figura 3 Selecció de mode.

Quan el mode seleccionat és el "Edit Mode", és possible modificar dades dels elements del SEP, així com dibuixar línies i/o nous elements.

El "Run Mode" és utilitzat per a dur a terme les diferents simulacions disponibles. També és útil per a la visualització dels diferents resultats obtinguts.

A continuació, es procedirà a explicar el desplegable "File", de la figura 2.

New Case: Crear un nou arxiu.

Open Case: Obrir un arxiu existent.

SaveCase: Guardar l'arxiu actual.

SaveCase As: Guardar l'arxiu actual amb un nom i en un directori concrets.

New Oneline: Crear un nou diagrama unifilar.

Open Oneline: Obrir un diagrama unifilar existent.

SaveOneline: Guardar diagrama unifilar.

ExportOneline: Exportar diagrama unifilar en format .bmp, .emf, .wmf, .jpg o .gif.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

CloseOnline: Tancar diagramar unifilar.

Load Transient Stability Data: Carregar informació d'estabilitat transient.

Save Transient Stability Data: Guardar informació d'estabilitat transient.

2.3.1.- Pestanyes

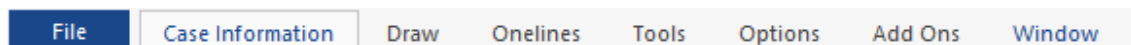


Figura 4 Pestanyes PowerWorld.

- Informació de l'arxiu ("CaseInformation"). En aquesta pestanya hi haurà disponible una sèrie d'eines per a tal de navegar i veure tota la informació de l'arxiu actual.
- Dibuixar ("Draw"). La funció d'aquesta pestanya és agrupar les eines necessàries per a tal de crear o modificar els diagrames unifilars. La majora de les accions d'aquesta pestanya estan restringides al mode d'edició.
- Unifilars ("Onelines"): Agrupa les eines utilitzades per a modificar l'aparença del diagrama unifilar.
- Eines ("Tools"): Aquesta pestanya s'utilitzarà per fer els diferents anàlisis que es vulguin dur a terme.
- Opcions ("Options"): Agrupa tots els botons utilitzats per a fer canvis en la configuració del propi programa. Cal a dir que totes les eines d'aquesta pestanya ja es troben en altres pestanyes, per això està dissenyada per a minimitzar la busca.
- Addicions ("AddOns"): Juntament amb el programa es pot decidir comprar diferents suplementes. En aquesta pestanya es trobaran les diferents opcions d'aquests.
- Finestra ("Window"): Aquesta pestanya està pensada per a poder personalitzar, en un cert grau, la interfície d'usuari.

2.3.1 PESTANYA "CASE INFORMATION"

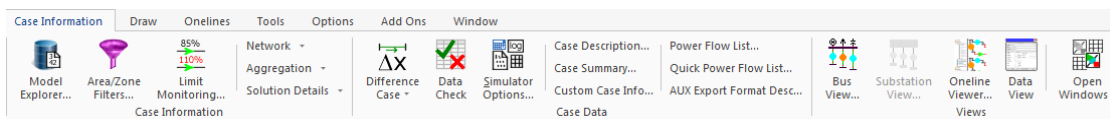


Figura 5 Pestanya "Case Information".

Secció d'Informació del Cas ("Case Information")

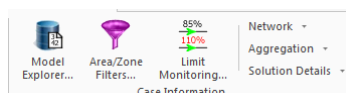


Figura 6 Secció "Case Information".

- Explorador del model ("Model Explorer"): Permet accedir a tota la informació relacionada amb el cas actual, com ara siguin els busos, el seu voltatge nominal, la seva potència activa i reactiva, entre moltes altres coses.
- Filtres per Àrea/Zona ("Area/ZoneFilters"): Permet filtrar els elements del SEP per àrea i/o zona geogràfica en el cas que s'hagin especificat.
- Control de límits ("LimitMonitoring"): Permet elegir què controlar durant els anàlisis.
- Els desplegable de Xarxa ("Network"), Agregació ("Aggregation") i Detalls de les solucions ("SolutionDetails") permeten realitzar les mateixes accions que el botó Explorador del Model. En aquest cas però, podem accedir directament a l'apartat que desitgem, en comptes de buscar-ho a través del panell d'exploració, per defecte situat a l'esquerra un cop obrim l'Explorador de Model.

Secció Dades del Cas ("Case Data")

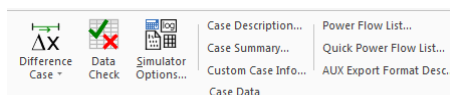


Figura 7 Secció "Case Data".

- Anàlisis de diferències ("Difference Case"): En aquest desplegable s'hi troben les opcions usades per a comparar dos SEP diferents.
- Comprovar Informació ("Data Check"): Permet configurar diferents opcions per a tal de filtrar i contar elements que compleixin els requisits dins del SEP.
- Opcions de Simulació ("Simulator Options"): Obra una finestra on es poden modificar totes les opcions de càlcul i/o funcionament del SEP.
- Descripció del cas ("CaseDescription"): Obra una finestra que permet definir una descripció per a l'arxiu, o veure la descripció de l'actual si ja n'hi havia una.
- Informació del cas ("CaseSummary"): Informa del nombre de elements del SEP, així com d'altres variables d'utilitat.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

- Personalitzar informació del cas ("CustomCase Data"): Obre una nova finestra que permet inserir gran quantitat d'informació, per tal de descriure el SEP actual de la millor manera possible.
- Llista de flux de potència ("PowerFlowList"): Genera una finestra on s'informa de la generació i del consum dels diferents elements del SEP, organitzats en Busos.
- Llista ràpida de flux de potència ("QuickPowerFlowList"): Obra una finestra on s'hi pot especificar de quin Bus es vol conèixer la generació/consum dels seus elements.
- Exportar el format de la descripció en un fitxer Auxiliar ("AUX Export Format Desc").

Secció Visualització ("Views")

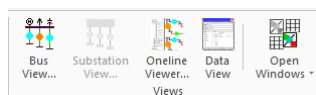


Figura 8 Secció "Views".

- Visualització de Busos ("Bus View"): Permet visualitzar totes les dades i variables del Bus especificat.
- Visualització de la Subestació ("SubstationView"): Permet visualitzar totes les dades i variables de la subestació especificada.
- Visualització del diagrama unifilar ("OnlineViewer")
- Visualització de la informació ("Data View"): S'especifica el Bus/element desitjat i permet visualitzar la seva informació en una finestra apart.
- Obrir finestra ("Open Window"): En el cas que es tinguin diferents finestres obertes dins del programa, aquest desplegable permet navegar amb facilitat entre totes elles.

2.3.2 PESTANYA "DRAW"

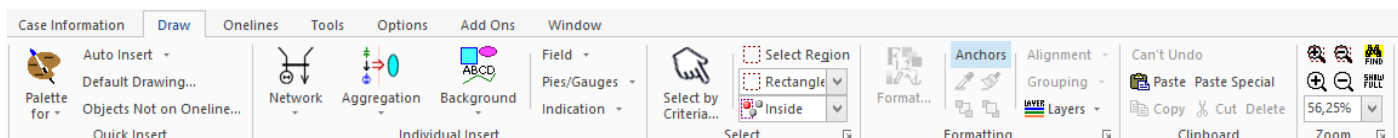


Figura 9 Pestanya "Draw".

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Secció d'Inserció Ràpida ("Quick Insert")

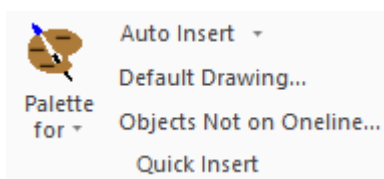


Figura 10 Secció "Quick Insert".

- Paleta per a ("Palette for"): Mostra tots els elements del tipus seleccionat, tant si es troben al diagrama unifilar com si no.
- Inserir Automàticament ("Auto Insert"): Insereix un element al SEP de manera ràpida.
- Valors per defecte al dibuixar ("DefaultDrawing"): Permet establir uns valors per defecte per als diferents tipus d'elements per a tal de que la inserció d'aquests al sistema unifilar sigui més àgil.
- Objectes que no estan a l'unifilar ("Objectsnot on Oneline"): Obra una finestra amb una llista de tots els elements que no es troben al diagrama unifilar.

Secció d'Inserció Individual ("Individual Insert")

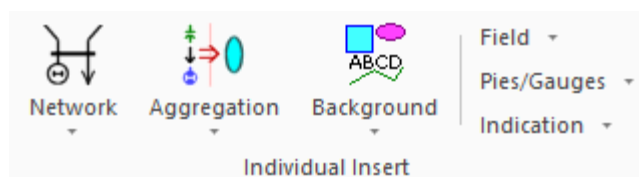


Figura 11 Secció "Individual Insert".

- Xarxa (Network): Permet afegir tots els tipus d'elements d'un SEP al nostre diagrama unifilar.
- Agregació ("Aggregation"): Serveix per establir les àrees i els propietaris dels elements del SEP, entre d'altres, d'una manera ràpida.
- Fons ("Background"): Permet afegir un fons a la finestra de la interfície gràfica, ja sigui una imatge, un text, un marcador, un enllaç, entre d'altres.
- Camp ("Field"): S'utilitza per mostrar dades i/o resultats dels diferents elements del SEP en la interfície gràfica, com poden ser la potència activa o reactiva, les pèrdues, entre d'altres.
- Diagrames Circulars/Calibració ("Pies/Gauges"): Permet afegir diferents diagrames circulars a la interfície gràfica funció de les dades i/o resultats existents.
- Indicació ("Indication"): Representa fletxes de direcció de flux o de tallament de circuit a la interfície gràfica.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Secció Seleccionar ("Select")

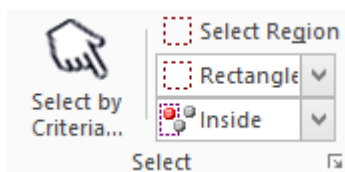


Figura 12 Secció "Select".

- Seleccionar segons criteri ("Select byCriteria..."): Obre una finestra que permet seleccionar diferents elements del SEP en funció dels filtres que s'assignin.
- Seleccionar Zona ("Select Region"): Permet seleccionar una zona de l'interfície gràfica, ja sigui en forma de rectangle, polígon o el·lipse.

Secció Format ("Formatting")

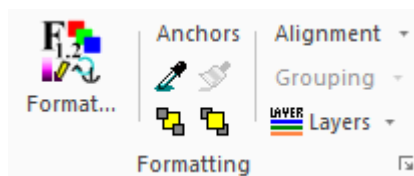


Figura 13 Secció "Formatting".

- Format...: Obre una finestra on és possible canviar el format/aparença de l'element del SEP seleccionat.
- Copiar Format / Pegar Format ("Copy Format / Paste Format"): Permet copiar el format/aparença de l'objecte que cliquem i pegar-lo en un altre.
- Enviar al Fons / Portar al Devant ("Send to Back / Bring to Front"): Porta l'objecte seleccionat al davant/fons a la interfície d'usuari, respectivament. Els objectes al davant es veuen per sobre dels objectes al darrere.
- Alinear ("Alignment"): Tal com diu el nom, aquesta opció serveix per alinear diferents objectes quan es tenen seleccionats. Per seleccionar més d'un objecte es pot utilitzar la opció Seleccionar Zona ("Select Region"), esmentada anteriorment, o fer clic als objectes que es desitja alinear mentre es prem la tecla "Shift".
- Agrupar ("Grouping"): Només disponible per als objectes agregats a través del menú Fons ("Background"), esmentat anteriorment. Permet agrupar diferents d'aquests objectes per a tal de moure'ls/modificar-los junts.
- Capes ("Layers"): Permet afegir capes i modificar les opcions d'aquestes. Les capes poden contenir diferents elements del SEP i poden ser visibles o no. Això permet filtrar visualment al diagrama unifilar d'una manera ràpida. Per defecte, tots els objectes s'assignaran a la capa "DefaultLayer". Per assignar-

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

los a una altra capa, s'ha d'utilitzar el menú "Format...", el qual ha estat esmentat anteriorment.

Secció "Clipboard": Les diferents opcions contingudes en aquesta secció són comuns a la majoria de software, no només de simulació. Desfer... ("Undo...") permet desfer la última acció realitzada en la interfície gràfica. Copiar ("Copy") / Tallar ("Cut") i Pegar ("Paste") permeten duplicar i/o transportar elements ja existents en la interfície gràfica.

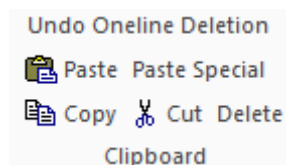


Figura 14 Secció "Clipboard".

Secció Zoom: en aquesta secció hi ha diferents opcions relacionades amb l'enfocament del diagrama unifilar en la interfície gràfica. Permet enfocar i disminuir el zoom a una zona concreta, l'àrea de la qual haurà estat seleccionada amb el ratolí. També permet enfocar un objecte en concret, augmentar i disminuir el zoom manualment o establint un número en concret. També es pot enfocar tot el diagrama unifilar.

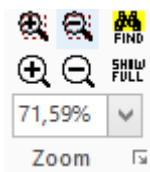


Figura 15 Secció "Zoom".

2.3.3 PESTANYA "ONELINES"

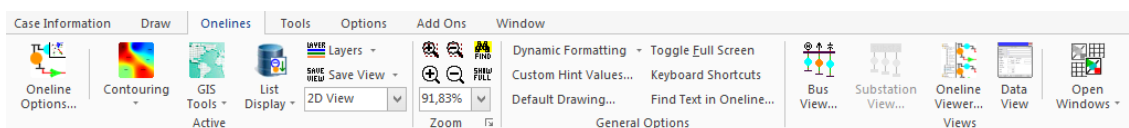


Figura 16 Pestanya "Onelines".

Secció Actiu ("Active")

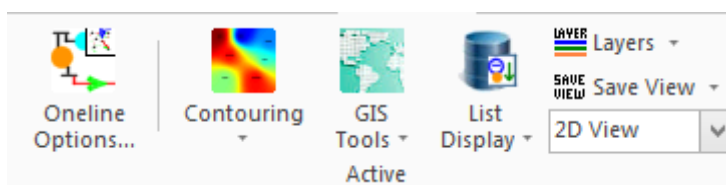


Figura 17 Secció "Active".

- Opcions del diagrama unifilar... ("Online Options"): Obre una finestra emergent que permet modificar totes les opcions relacionades amb la

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

disposició dels elements, així com de colors, entre d'altres.

- Contorn ("Contouring"): Obre un desplegable en el qual es pot modificar el contorn dels elements del SEP, fent així que adopti un color en funció de diferents variables personalitzables.
- Eines GIS ("GIS Tools"): Permet importar o exportar fitxers amb la localització gràfica del SEP.
- Llista de Visualització ("List Display"): Permet modificar la visualització per defecte dels diferents elements.
- Capes ("Layers"): Permet definir capes, assignant diferents elements a una d'elles. D'aquesta manera, es poden amagar o visualitzar conjunts d'objectes, per només treballar amb ells.
- Guardar Visualització ("Save View"): Permet guardar la vista actual del diagrama unifilar.
- Vista 2D/3D ("2D/3D View"): Permet canviar entre la visualització en 2D i en 3D.

Secció Zoom: definida en l'apartat '2.3.2 Pestanya "Draw"', complementada amb la figura 15.

Secció Opcions Generals ("General Options")

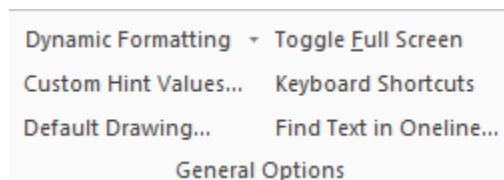


Figura 18 Secció "General Options".

- Format Dinàmic ("Dynamic Formatting"): Permet configurar com es representaran els elements en funció del seu tipus i el SEP al qual pertany.
- Personalitzar valors ("Custom Hint Values..."): Permet modificar la visualització de la etiqueta que apareix al mantenir el cursor a sobre de un element del sistema.
- Dibuix per defecte ("Default Drawing..."): Permet definir les mides per defecte dels nous elements.
- Alternar Pantalla Completa ("Toggle Full Screen"): Alterna entre pantalla completa i pantalla parcial.
- Dreceres del teclat ("Keyboard Shortcuts"): Permet consultar totes les dreceres del teclat, així com modificar-les.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

- Buscar text en Diagrama Unifilar ("Find Text in Online...): Busca el text especificat en els elements del diagrama unifilar.

Secció View: definida en l'apartat '2.3.1 Pestanya "Case Information"', complementada amb la figura 8.

2.3.4 PESTANYA "TOOLS"

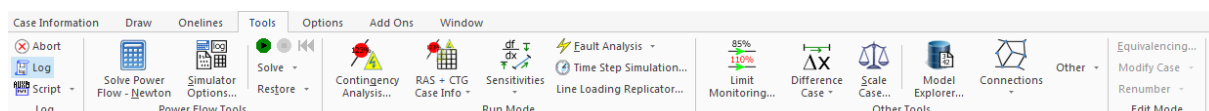


Figura 19 Pestanya "Tools".

Secció "Log"

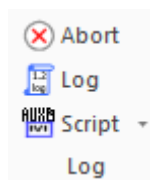


Figura 20 Secció "Log".

- Abortar ("Abort"): Talla la simulació en procés. Si s'està realitzant una simulació en el temps, la simulació es pausarà.
- Registre ("Log"): Obre una finestra on es mostra tot el que ha ocorregut al programa. Pot ser útil en el cas de que hi hagi un error, per conèixer la seva procedència.
- Script: Obre una finestra en la que es poden escriure comandaments per realitzar qualsevol acció al programa. Per exemple, utilitzant AutoInsertBus() s'insertarà un bus després d'especificar unes dades concretes dins del parèntesis i separades per comes.

Secció "Power Flow Tools"

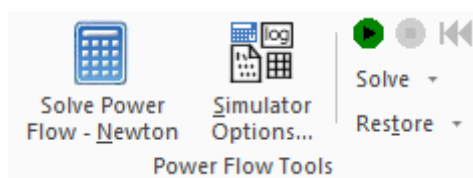


Figura 21 Secció "Power Flow Tools".

- Solucionar Flux de Potència mitjançant Newton-Raphson ("SolvePowerFlow - Newton"): simula el SEP actual i mostra els resultats obtinguts a partir del mètode Newton-Raphson.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

- Opcions de Simulació (“Simulator Options”): Obre una finestra amb totes les opcions possibles per a tal de configurar els diferents tipus de simulació.
- Icones de simulació: Sèrie d’opcions utilitzades per iniciar la simulació, parar-la o per restaurar-la.

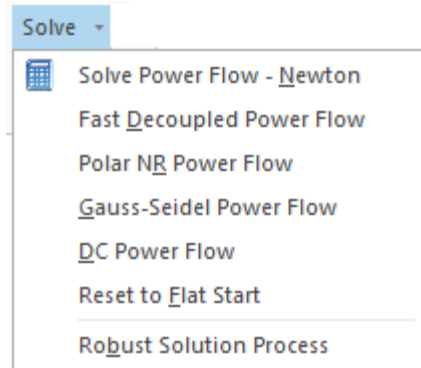


Figura 22 Desplegable "Solve".

- Desplegable Resoldre (“Solve”): Presenta una sèrie d’opcions per a obtenir diferents tipus de resultats al resoldre el sistema de potència.

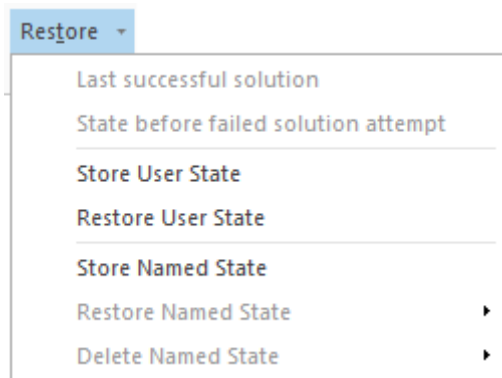


Figura 23 Desplegable "Restore".

- Desplegable Restaurar (“Restore”): Presenta diferents opcions per a tal de recuperar una solució determinada. En el cas que la solució sigui la desitjada, també hi ha opcions que permeten guardar-la per a tal de que sigui possible recuperar-la més endavant.

Secció “Run Mode”

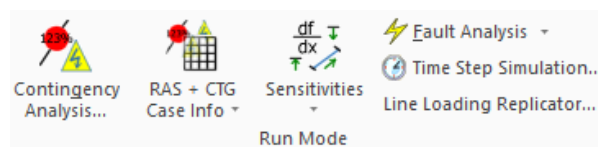


Figura 24 Secció "Run Mode".

- Anàlisi de contingència (“Contingency Analysis”): Permet analitzar el circuit quan es desconnecta un dels elements.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

- Desplegable RAS + CTG Informació del cas (RAS + CTG Case Info):
Complementa amb diferents opcions i solucions l'anàlisi de contingència
- Desplegable de Sensitivitat ("Sensitivities"): Calcula la sensibilitat del sistema a diferents canvis.
- Anàlisi de Faltes ("Fault Analysis"): Permet analitzar faltes en el sistema. El desplegable ens permet seleccionar si la falta succeeix a totes les fases alhora o només a una en concret.
- Simulació amb escala de temps ("Time Step Simulation"): Permet realitzar simulacions de flux de potència variant algun dels elements en funció del temps.

Secció "Other Tools"

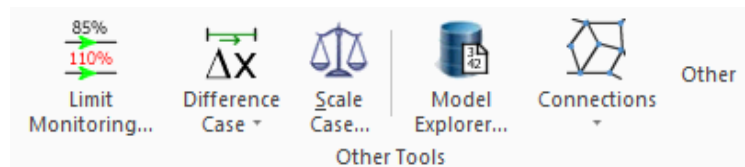


Figura 25 Secció "Other Tools".

- Monitorització de límits ("Limit Monitoring"): Explicat a la secció de "CaseInformation".
- Anàlisi de diferències ("Difference Case"): També explicat en la secció "CaseInformation".
- ("ScaleCase")
- Explorador de Models ("Model Explorer"): Duplicat de la secció "CaseInformation".
- Connexions ("Connections"): Permet definir i calcular diferents paràmetres en les connexions dels diferents busos, tals com el càlcul de les pèrdues o la definició de les distàncies.

Secció "Edit Mode"

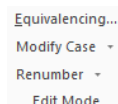


Figura 26 Secció "Edit Mode".

- Equivalències ("Equivalencing"): Defineix sistemes similars com a equivalents per a alliberar la memòria de l'ordinador quan s'executi la simulació.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

- Modificar cas ("ModifyCase"): Permet modificar diferents elements del sistema, com separar un bus en dos, o fusionar dos en un.
- Renumerar ("Rename"): permet tornar a definir els números assignats per defecte als elements del sistema.

2.3.5 PESTANYA "OPTIONS"

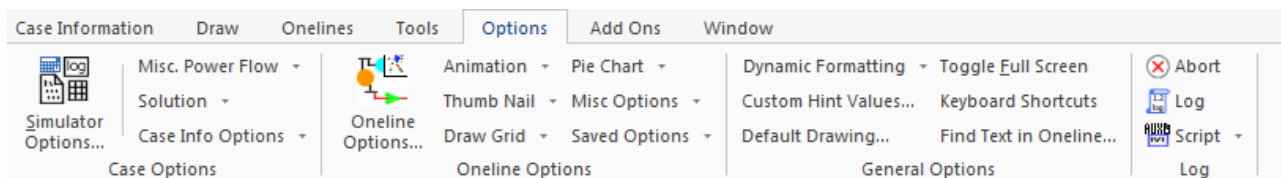


Figura 27 Pestanya "Options".

Secció "CaseOptions"

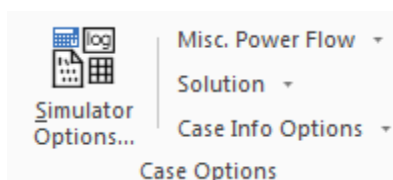


Figura 28 Secció "Case Options".

- Opcions de Simulació ("Simulator Options..."): Explicat en l'apartat de la pestanya "CaseInformation".
- Diverses Opcions per a flux de Potència ("Misc. PowerFlow"): Permet activar/desactivar diferents opcions que també es troben en el quadre de Opcions de Simulació.
- Solució ("Solution"): Obre un desplegable el qual permet activar/desactivar diferents opcions relacionades amb l'algoritme de resolució del flux de potència. Aquestes opcions també es troben al quadre de Opcions de Simulació.
- Opcions de les Dades de l'Arxiu("CaseInfoOptions"): Desplegable que permet personalitzar l'aparença de les dades del cas en qüestió. Les opcions presents en aquest desplegable també es troben en el quadre de Opcions de Simulació, més concretament en la pestanya "CaseInformation Display Options".

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Secció "OnlineOptions"

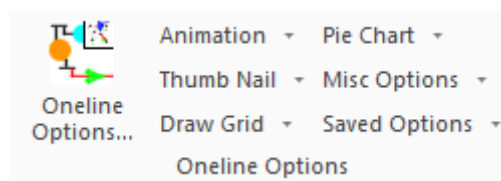


Figura 29 Secció "Online Options".

- Opcions del Diagrama Unifilar ("OnlineOptions..."): Obre un requadre amb totes les opcions disponibles per a la presentació, edició i informació, entre d'altres, dels diagrames unifilars del cas en qüestió. Explicat anteriorment en la pestanya "Onelines".
- Animació ("Animation"): Obre un desplegable amb les opcions disponibles per a modificar l'animació del diagrama unifilar quan representa el flux de potència corresponent. És un accés ràpid per a les mateixes opcions que apareixen en el requadre de Opcions del Diagrama Unifilar.
- Petit Resum ("ThumbNail"): Obre un desplegable amb diferents opcions per a modificar la presentació del resum. Aquestes opcions també apareixen al requadre de Opcions del Diagrama Unifilar.
- Dibuixar la Quadrícula ("Draw Grid"): Permet fer aparèixer/desaparèixer la quadrícula, així com modificar-la.
- Gràfic Circular ("Pie Chart"): Desplegable amb les opcions necessàries per a modificar els gràfics circulars presents al diagrama unifilar.
- Opcions Diverses ("MiscOptions"): Desplegable amb diferents opcions. Permet canviar el color de fons del diagrama unifilar, així com mostrar diferents detalls en ell i fer èmfasis en diferents parts d'aquest.
- Opcions Predefinides ("SavedOptions"): Permet carregar conjunts d'opcions prèviament guardats.

Secció "General Options"

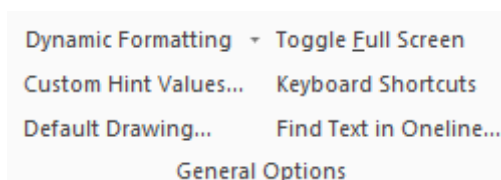


Figura 30 Secció "General Options".

- Format Dinàmic ("DynamicFormatting"): Permet canviar el format visual de tots els elements dels diferents tipus d'apartats.
- Personalitzar Valors dels Cartells ("CustomHintValues"): Quan es manté el ratolí a sobre d'un element, apareix un cartell groc amb informació addicional sobre

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

aquell element. Amb aquesta opció, es possible modificar la informació que apareixerà.

- Dibuix per Defecte ("DefaultDrawing"): Permet canviar els valors per defecte dels nous objectes/elements inserits en el Mode Editar, tals com el seu tamany.
- Canviar a Pantalla Completa ("Toggle Full Screen"): Alterna entre pantalla completa i pantalla reduïda.
- Dreceres de Teclat ("KeyboardShortcuts"): Mostra totes les dreceres del teclat utilitzades en PowerWorld i permet modificar-les.
- Buscar Text en Diagrama Unifilar ("Find Text in Oneline"): Realitza una búsqueda per text en els elements del diagrama unifilar.

Secció "Log"



Figura 31 Secció "Log".

- Abortar ("Abort"): Para la simulació.
- Registre ("Log"): Obre el registre de tot el que ha succeït durant les simulacions.
- Script: obre el "Mode Script", el qual permet executar ordres a partir de funcions.

2.3.6 PESTANYA "ADD ONS"

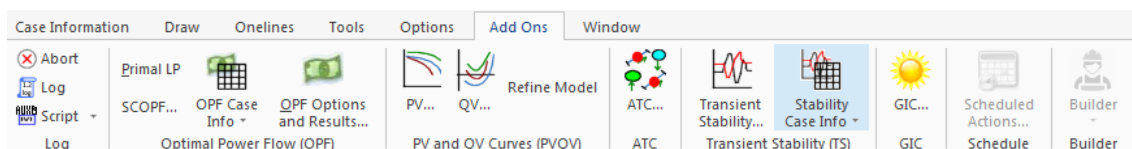


Figura 32 Pestanya "Add Ons".

La majoria de les opcions en aquesta pestanya només seran utilitzables en "Run Mode". La majoria de les opcions presents permetran treure conclusions dels resultats obtinguts després d'haver realitzat la simulació.

Secció "OptimalPowerFlow (OPF)": el Flux Òptim de Potència (OPF) és el càlcul de la generació d'energia necessària per a satisfer una demanda, amb el mínim cost.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

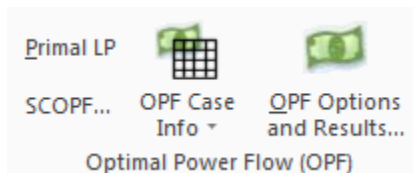


Figura 33 Secció "Optimal Power Flow (OPF)".

- Primal LP: Soluciona el Flux Òptim de Potència.
- SCOPF: Obre el diàleg de "SecurityConstrained OPF". És un càlcul del Flux Òptim de Potència que també té en compte que no es sobrepassen els límits del sistema.
- Informació OPF (OPF CaseInfo): Obre un desplegable el qual permet navegar a través dels diferents elements del SIEP. Al fer clic en un d'ells, mostrarà variada informació sobre la entrada i sortida de potència en el Flux de Potència Òptim.
- OPF Opcions i Resultats ("OPF OptionsandResults"): Obre un quadre de diàleg que permet modificar les opcions per a la simulació del OPF i veure informació sobre els resultats.

Secció Corbes PV i QV

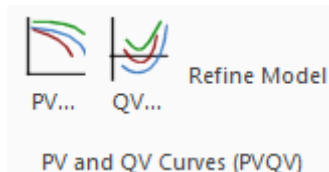


Figura 34 Secció "PV and QV Curves (PVQV)".

- PV: Obre una finestra amb totes les opcions necessàries per a realitzar una corba Potència activa - Voltatge.
- QV: Obre una finestra amb totes les opcions necessàries per a realitzar una corba Potència reactiva - Voltatge.
- Refina el Model ("Refine Model"): Dóna la possibilitat de fixar un marge entre valors màxims i mínims en potència activa, reactiva i voltatge en els anàlisis PVQV.

Secció ATC (AvailableTransferCapability): Analitza la Capacitat Disponible de Transferència de potència entre dos parts del SIEP sense sobrepassar cap dels límits.



Figura 35 Secció "ATC".

Secció "Transient Stability (TS)"

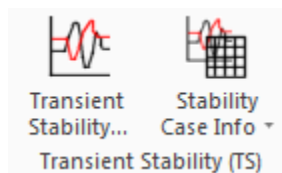


Figura 36 Secció "Transient Stability (TS)".

- Estabilitat dels Transients ("Transient Stability"): Permet analitzar el comportament dinàmic del sistema davant d'una falta.
- Informació de l'Estabilitat ("StabilityCaseInfo"): Proporciona accés a diferents opcions per a tal de personalitzar tant l'entrada com la sortida de les dades en l'opció de Estabilitat dels Transients.

2.3.7 PESTANYA "WINDOW"

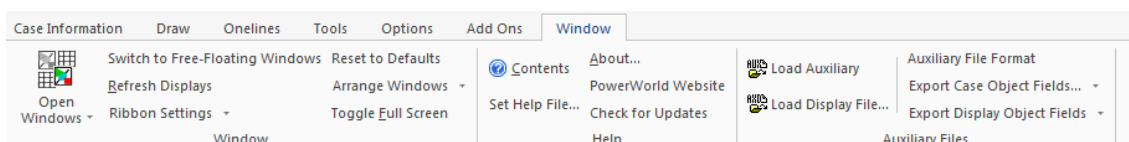


Figura 37 Pestanya "Window".

Secció "Window"

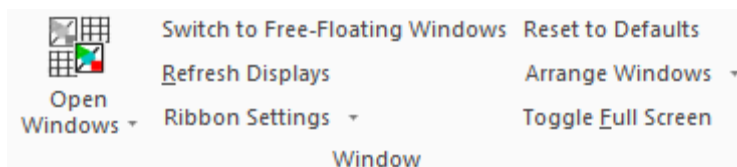


Figura 38 Secció "Window".

- Obre Finestres ("Open Windows"): Permet navegar entre finestres obertes en el programa.
- Canviar a Finestres Flotants / Canvia a Finestres Estàndard ("Switch to Free-Floating Windows"/ "Switch to Standard Container Window"): Canvia la manera de presentar les finestres. Amb finestres flotants és possible reduir la grandària de les finestres podent observar qualsevol altre programa al fons. Amb les finestres estàndard, el fons és simplement de color blanc.
- Actualitzar Dades ("Refresh Displays"): Actualitza les dades mostrades en pantalla.
- Configuració de la Part Superior ("Ribbon Settings"): Permet canviar de color la cinta superior on es mostren totes les opcions i pestanyes.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

- Restablir Opcions per Defecte ("Reset to Defaults"):
- Ordenar Finestres ("Arrange Windows"):
- Canviar a Pantalla Completa ("Toggle Full Screen"):

Secció "Help"

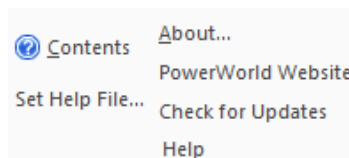


Figura 39 Secció "Help".

- Contingut ("Contents"): Obre una pàgina web en anglès que conté un manual d'ajuda del programa PowerWorld.
- Estableix l'Arxiu d'Ajuda ("Set Help File"): Permet canviar la pàgina web que s'obra per defecte al prémer el botó Contingut, esmentat immediatament abans.
- Sobre... ("About..."): Obre una finestra amb informació sobre el programa PowerWorld utilitzat, esmentant la versió i la data de descàrrega, així com informació de l'Empresa i dels AddOns disponibles.
- Pàgina Web de PowerWorld ("PowerWorldWebsite"): Obre la pàgina oficial de PowerWorld.
- Buscar Actualitzacions ("Check for Updates"): Comprova si hi ha actualitzacions disponibles i les descarrega.

Secció "Auxiliary Files"

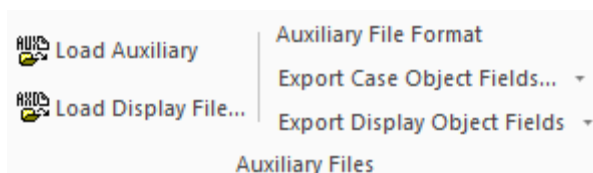


Figura 40 Secció "Auxiliary Files".

- Carrega Fitxer Auxiliar ("LoadAuxiliary"): Importa un fitxer aliè als fluxos de potència. Usualment l'extensió sol ser .AUX i sol contenir informació sobre els elements del sistema de potència, així com opcions per a executar diferents eines al PowerWorld.
- Carrega Fitxer de Visualització ("Load Display File"): Com en el cas anterior, importa un fitxer extern al programa. En aquest cas, els fitxers importats seran de visualització.
- Format dels Fitxers Auxiliars ("Auxiliary File Format"): Obre un document amb la explicació de tots els tipus de fitxers auxiliars que es poden importar a PowerWorld.

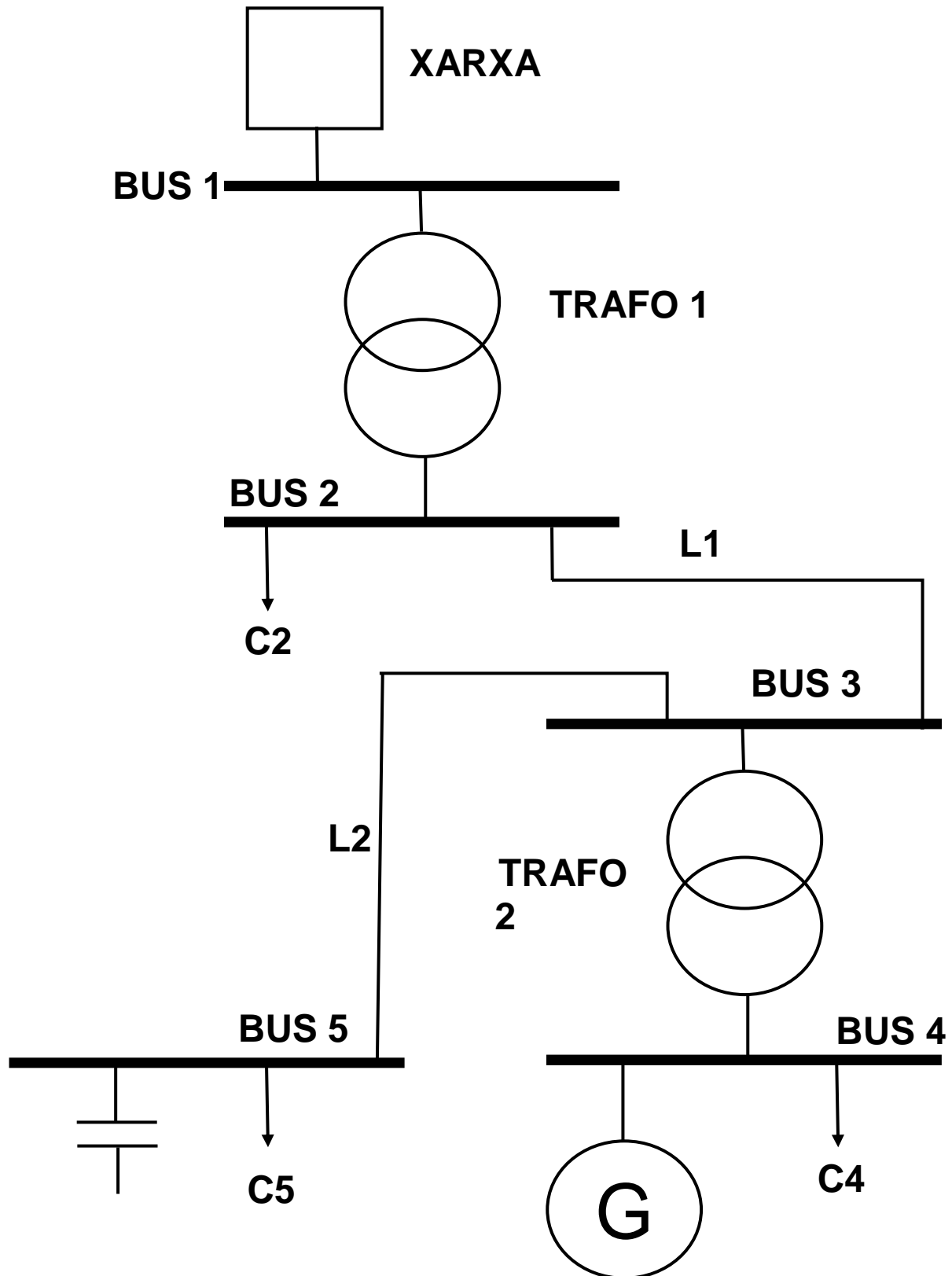
CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

- Exportar Llista de Dades dels Elements de l'arxiu ("ExportCaseObjectFields / Export Display ObjectFields"): Exporta totes les dades dels diferents elements de l'arxiu del SIEP en un fitxer de Text o Excel. Utilitzat per a passar el cas a un altre programa si és necessari.

2.4 CREACIÓ D'UN CAS NOU

L'exemple que es replicarà al PowerWorld és el següent:



Esquema 1. Exemple SEP 1.

2.4.1 DADES

- Generadors

Bus	Vnominal (kV)	Pmàx(MW)	Pmín (MW)	Qmàx (MVar)	Qmín (MVar)
1	750	3000	50	600	-600
4	20	1000	100	200	-200

Taula 1 Dades Generadors Exemple 1.

- Línies

De Bus	A Bus	r (pu)	x (pu)	b(pu)	Límite A (MVA)	Vnom (kV)
2	3	0.01	0.025	0.15	1000	400
3	5	0.01	0.025	0.16	1000	400

Taula 2 Dades Línies Exemple 1.

- Transformadors

De Bus	A Bus	r (pu)	x (pu)	Vn1 (kV)	Vn2 (kV)	Límit A (MVA)
1	2	0	0.02	750	400	1000
3	4	0	0.03	20	400	600

Taula 3 Dades Transformadors Exemple 1.

- Demanda

Bus	P (MW)	Q (MVar)
2	250	100
4	20	10
5	800	200

Taula 4 Dades Càrregues Exemple 1.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

- Bateria de Condensadors

BUS	Q (Mvar)
5	75

Taula 5 Dades BC Exemple 1.

- Producció

Bus	P (MW)	Tensió (pu)
1	-	1
4	400	1

Taula 6 Dades Producció Exemple 1.

2.4.2 DEFINIR POTÈNCIA BASE

Per defecte aquesta potència serà de 100 MVA. En el cas que es vulgui canviar, s'haurà d'anar a "Simulator Options" (icones de la part superior) i definir-la allà (figures 41 i 42).

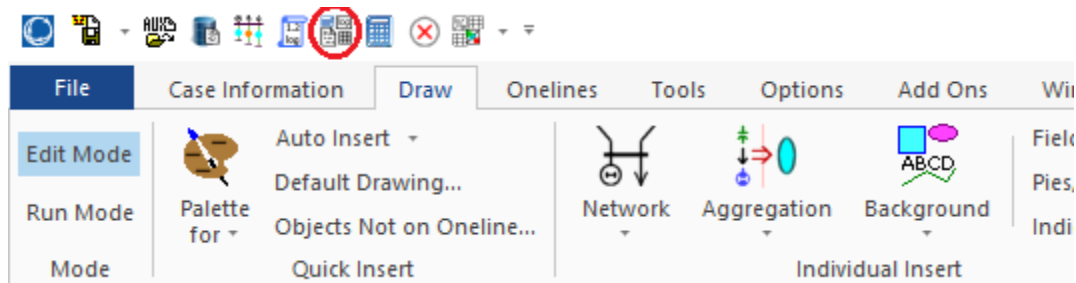


Figura 41 Senyalització Simulator Options.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

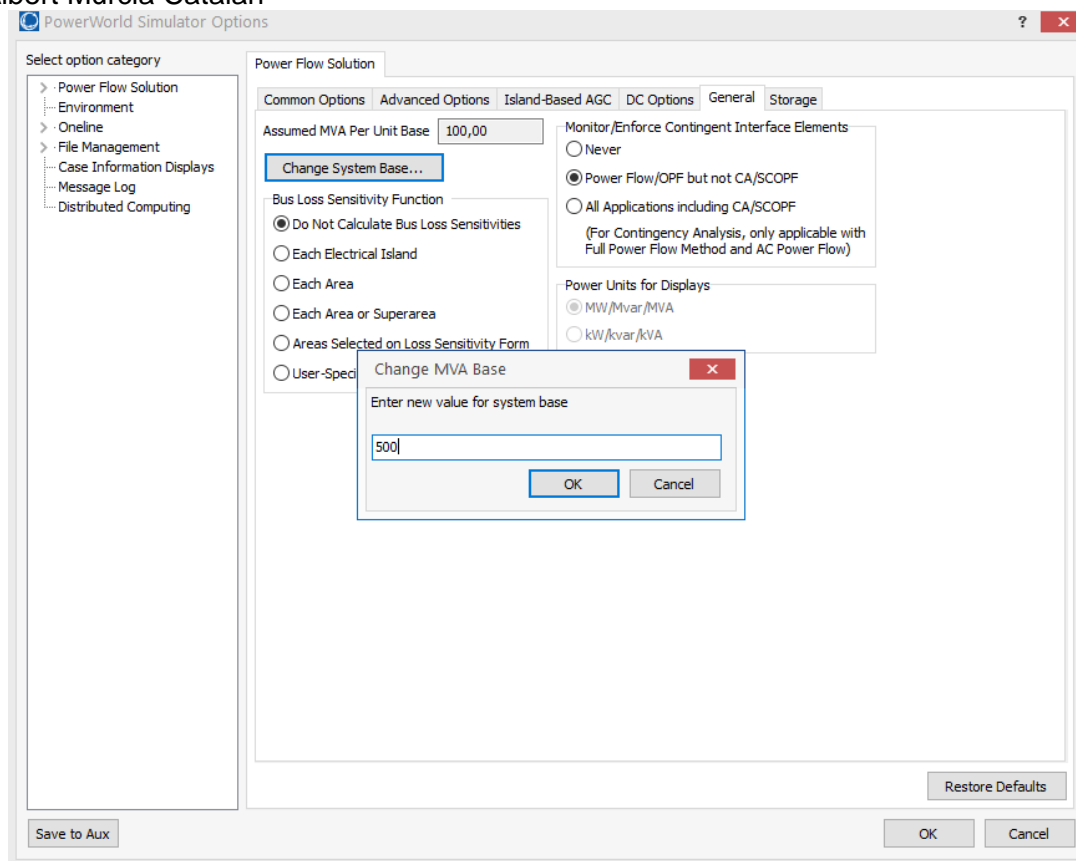


Figura 42 Requadre canvi potència base.

En aquest exemple s'utilitzarà una potència base de 500 MVA.

2.4.3 INSERCIÓ D'ELEMENTS

Els diferents elements d'un Sistema Elèctric de Potència es poden inserir de diverses maneres. En aquesta guia s'ha optat per una de les opcions, però no és incorrecte utilitzar cap de les altres (esmentades en l'apartat "2.3. Interfície d'usuari", en les diferents pestanyes).

Els diferents elements s'han d'inserir amb el "Edit Mode" activat. Es durà a terme a través de la pestanya "Draw", a la secció "Individual Insert", el desplegable "Network". Allà s'hi trobaran les diferents opcions per cada un dels elements a inserir.

Un cop afegit un element al diagrama unifilar, apareixerà un quadre de diàleg que permetrà establir les dades d'aquell element en concret.

Les dades a omplir són molt nombroses i s'esmentaran només aquelles que tinguin un mínim de rellevància per al anàlisi de flux de potència. Les dades a inserir per realitzar el anàlisi de faltes i curtcircuits s'esmentaran en l'apartat corresponent.

També cal esmentar que cada quadre de diàleg per a cada opció presentarà una secció dedicada a la mida i aspecte de l'element en el diagrama unifilar. Aquest aspecte només es comentarà en el primer apartat ("Busos"), ja que és pràcticament

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

igual en tots els elements.

2.4.3.1 BUSOS

Bus Options

This will insert a new bus in the power system data model

Bus Number: 1 Find By Number Find ...

Bus Name: 1 Find By Name

Nominal Voltage: 138,00 kV

Labels ...

	Number	Name
Area	1	1
Balancing Authority	1	1
Zone	1	1
Owner	1	
Substation		

Bus Information Display Attached Devices Geography Custom

Bus Voltage

Voltage (p.u.): 1,00 Bus Voltage Regulator Devices

Angle (degrees): 0,00

☒ System Slack Bus

OK Save Save to Aux Cancel

Figura 43 Finestra dades Bus.

Els primers dos requadres permeten establir una identificació per al bus en qüestió. El tercer requadre permet canviar el voltatge nominal (en kV).

Els següents requadres són necessaris en el cas que el Bus representi una zona real i es tinguin definides les diferents àrees i zones del cas real. Com aquest cas és un exemple, es deixarà tal i com està. Els següents elements del SEP també disposaran de requadres similar, si no idèntics. També es deixaran en blanc.

En la pestanya inferior "Bus Information" es podrà definir el voltatge real del Bus en p.u.s, així com l'angle en graus. Aquest valor només serà efectiu si es marca la casella "System Slack Bus", que definirà aquest Bus com el Slack. Com el Bus 1 és el Slack Bus de l'exemple, es marcarà la casella en aquest. Cal afegir que, en el cas de canviar el valor del voltatge en aquesta pestanya i no marcar la casella, el valor establert s'ignorarà i, una vegada realitzada la simulació, apareixerà el valor corresponent en funció dels càlculs. Per tant, en els següents busos aquesta casella no es marcarà i el voltatge i l'angle no es modificaran.

En la pestanya "Display" apareixeran les opcions necessàries per a canviar l'aparença del Bus.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Bus Options

Bus Number: 1 Find By Number Find ...

Bus Name: Bus 1 Find By Name

Nominal Voltage: 750,000 kV

Labels ... no labels

	Number	Name
Area	1	1
Balancing Authority	1	1
Zone	1	1
Owner	1	1
Substation		

Bus Information Display Attached Devices Geography Custom

Orientation: ☒ Right ☐ Up ☐ Left ☐ Down

Shape: ☒ Rectangle ☐ Ellipse

Size: 10,00 Width: 0,300

Scale: ☐ Width with Size

Link to New Bus

OK Save Save to Aux Cancel

Figura 44 Pestanya Display Bus.

La primera opció permet canviar la orientació del Bus (dreta, amunt, esquerra o avall). La segona permet canviar la forma (rectangle o el·lipse). Les següents opcions, "Size" i "Width", s'utilitzen per canviar la llargà i l'amplada del Bus, respectivament. La casella de la dreta habilita que la llargada i l'amplada siguin proporcionals, de manera que al canviar una, es modificarà l'altra.

2.4.3.2 CÀRREGUES

La opció per definir càrregues en el desplegable "Network" és "Load". Una vegada seleccionada aquesta opció, es farà clic al bus on es vulgui inserir.

Figura 45 Finestra dades Càrrega.

Si s'ha fet clic al lloc correcte, els dos primers requadres haurien de confirmar el Bus desitjat.

El tercer requadre indicarà la identitat de la càrrega en el propi Bus. Si hi ha més d'una càrrega en un mateix Bus, la ID de cadascuna haurà de ser diferent.

D'aquesta manera, el següent pas és definir la càrrega, que es troba en la mateixa pestanya que l'aparença. Així, es definiran els MW i els Mvar corresponents. Les altres pestanyes no s'utilitzaran per a l'anàlisi de flux de càrregues.

2.4.3.3 GENERADORS

De la mateixa manera que s'han inserit les càrregues es farà amb els generadors desitjats.

Figura 46 Finestra dades Generadors.

Els tres primers requadres indiquen el mateix que en les càrregues.

El requadre "Generator MVA Base" situat a la part superior dreta del quadre s'utilitzarà per a calcular els paràmetres interns del generador en el cas de falta. Per aquest motiu no és necessari definir-lo per a un anàlisi de flux de potència, però sí per un anàlisi de curt circuit. En aquest cas, el generador 1 representa la xarxa elèctrica externa al SEP, pel que les faltes estudiades no provindran d'aquest element. Per això, en el generador 1 es pot menysprear.

A la pestanya "Display Information", com amb els busos, es poden definir diferents paràmetres per tal de canviar l'aparença del generador.

A la pestanya "PowerandVoltage Control" s'hi definiran diferents variables.

"MW Setpoint" és la potència desitjada de sortida del generador. De la mateixa manera, "Min. MW Output" i "Max. MW Output" definiran els límits de potència mínima i màxima, respectivament, a les quals pot treballar el generador.

La casella "Available for AGC" activa el Control de Generació Automàtic. D'aquesta manera, la potència de sortida del generador serà calculada al realitzar la simulació.

La casella "Enforce MW Limits during automatic control" força a la potència de sortida

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

a estar entre els límits de generació definits prèviament, quan el generador es troba en el mode AGC ("Control de Generació Automàtic").

En l'exemple, aquest generador representa la xarxa elèctrica annexionada al SEP estudiat. D'aquesta manera, la potència de curt circuit (la màxima que pot generar aquest element) s'entén com a infinita. També és desconeguda a priori la potència subministrada per la xarxa a aquest SEP. Per aquest motiu, les dades que s'hauran d'inserir són diferents a les d'un generador. S'haurà de marca la casella "Available for AGC" en el cas que no ho estigui, i s'haurà de desmarcar la següent "Enforce MW Limits during automatic control". Així, la potència subministrada per la xarxa serà calculada al realitzar la simulació i no tindrà límits. Per últim, es definirà un valor qualsevol al requadre "MW Setpoint" que, al realitzar la simulació, variarà en la mesura corresponent. Haver de posar un valor arbitrari és degut a la necessitat d'omplir aquest requadre per tal de poder fer clic a "OK".

En la secció "Voltage Control" s'hi trobaran variables molt semblants a la secció anterior "Power Control", però de potència reactiva en la seva major part.

"MVAr Output" permet modificar la potència reactiva de sortida del generador. Per a que aquest valor es tingui en compte, s'ha de desmarcar la casella "Available for AVR", explicada a continuació.

"Min MVARs" i "Max MVARs", com en la secció anterior, permeten establir uns límits de potència reactiva.

La casella de verificació "Available for AVR" permet que el generador estigui disponible per a la Regulació Automàtica del Voltatge. Desmarcar aquesta casella fixarà el voltatge establert com a fix.

La casella de verificació "UseCapabilityCurve" permet establir uns valors mínims i màxims de la potència reactiva en funció de la potència activa generada en aquell moment. Si es marca aquesta casella, els valors establerts en les caselles "Min MVARs" i "Max MVARs" no es tindran en compte.

"Regulated Bus Number" permet establir el bus del qual es vol regular la tensió.

"SetPointVoltage" permet fixar la tensió del bus del qual es vol regular la tensió. El valor serà definit en pus.

La casella "Remote Reg" és utilitzada quan diferents generadors estan regulant el mateix bus (aquest bus no pot ser el bus terminal de cap generador). Aquest valor determina el percentatge de potència reactiva que ha de mantenir el bus regulat per tal de mantenir el voltatge fixat.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Secció "Wind Control Mode": En aquesta secció és possible variar el comportament dels valors límit de potència reactiva.

Si el "Mode" elegit és "None", el generador es comportarà tal com s'ha explicat en els punts anteriors. En el cas d'elegir les altres opcions, s'aplicaran diferents equacions relacionades amb el "Power Factor" per tal d'obtenir els límits de potència reactiva.

2.4.3.4 LÍNIES

Es seleccionarà "TransmissionLine" al desplegable "Network" esmentat anteriorment. Una línia serà una connexió entre dos busos.

Per dibuixar la línia s'ha de fer clic allà on es vol que comenci. Després es traçarà la línia, fent clic als llocs on es vulgui realitzar un canvi de direcció. A l'arribar al bus destí, es farà doble clic i apareixerà el quadre de diàleg corresponent.

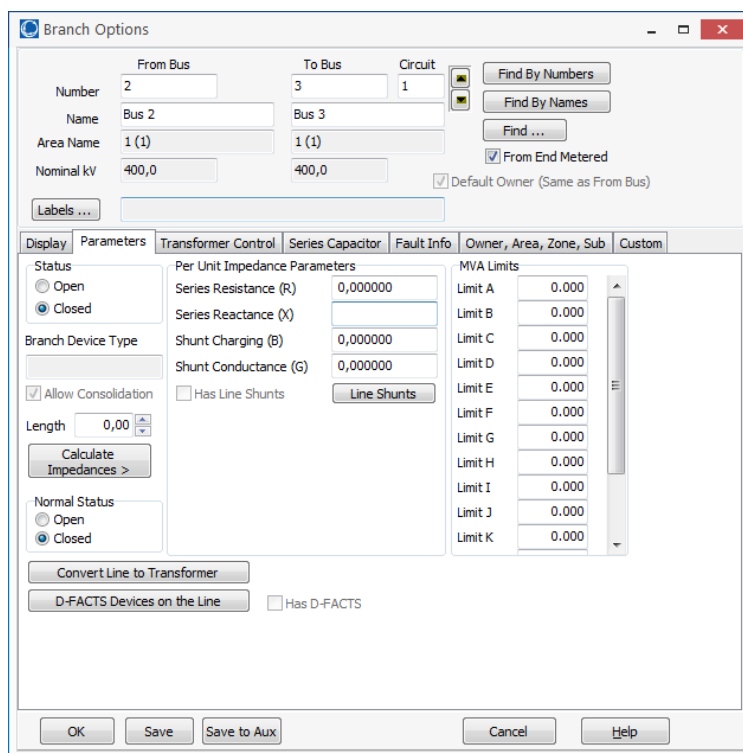


Figura 47 Finestra dades Línia.

Si s'ha inserit la línia correctament, els primers requadres haurien de confirmar-ho, senyalant els busos desitjats.

En la pestanya "Display" es podrà modificar l'aparença de la línia, com en els casos anteriors.

En la pestanya "Parameters" es definiran tots els paràmetres de la línia. Aquests són la resistència, reactància, capacitància i conductància, tots en p.u.s (R, X, B i G, en la imatge, respectivament).

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

S'ha d'esmentar que les línies poden ser convertides a transformadors i viceversa. per aquest motiu hi ha pestanyes dedicades exclusivament a transformadors a l'inserir una línia.

Un cop es faci clic a "OK", la línia apareixerà al diagrama unifilar. Juntament amb ella, apareixerà un gràfic circular que mostrarà dades interessants al realitzar la simulació.

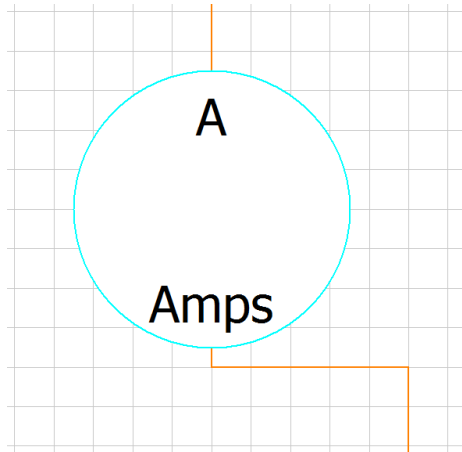


Figura 48 Gràfic Circular Línia.

Per això, s'ha de configurar. Es farà doble clic sobre ell i apareixerà una finestra emergent.

A screenshot of the 'Line/Transformer Flow Pie Chart' configuration window. It contains several input fields and checkboxes. The 'Near Bus' is set to 2, 'Far Bus' to 5, and 'Circuit' to 1. The 'Nom kV' is 400,000. The 'MVA Rating' is 0,000 and 'Percent' is 0,0. The 'Size' is 14,0. There are checkboxes for 'Ignore Dynamic Sizing', 'Ignore Dynamic Open Sizing', 'Always Show Value (Percent)', and 'Anchored'. The 'Style' section has radio buttons for '* Use Online Options' (selected), 'Line Amp, Transf. MVA', 'Total power (MVA)', 'Max % Load Cont.', 'Real power (MW)', 'PTDF', and 'Reactive power (Mvar)'. There is a 'View Pie Chart Display Options' button and 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons at the bottom.

Figura 49 Finestra opcions Gràfic Circular.

El primer requadre que es pot modificar en aquesta finestra és "MVA Rating", el qual permetrà definir la potència definida com a Límit A de la línia en qüestió. Serà la

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

potència màxima que suportarà la línia sense fer-se malbé, és a dir, la nominal.

Les següents funcions fan referència a l'aparença d'aquest diagrama. "Size" és la seva mida. Les següents caselles impedeixen que la mida de canviï en funció del percentatge de càrrega al que es trobi la línia.

La següent secció permet definir quina és la mesura que es vol visualitzar al gràfic.

2.4.3.5 TRANSFORMADORS

"Transformer" és la opció a seleccionar per inserir un transformador mitjançant la pestanya "Network".

Per a dibuixar-lo al diagrama unifilar es seguirà el mateix procediment realitzat per a les línies, amb la excepció de que és recomanat dibuixar-lo començant pel bus de més alta tensió i acabar-lo al bus de més baixa tensió.

Figura 50 Finestra dades Transformador.

Així com amb les línies, els primers requadres serviran de confirmació de que s'ha inserit correctament en els busos desitjats.

Com es pot apreciar, la relació de transformació s'estableix automàticament a partir de la tensió nominal dels busos origen i final del transformador.

A la pestanya "Parameters", s'inseriran els mateixos paràmetres esmentat prèviament amb les línies, afegint-hi la conductància i la susceptància magnetitzants.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

A la pestanya "Transformer Control" s'establiran els paràmetres de control del transformador.

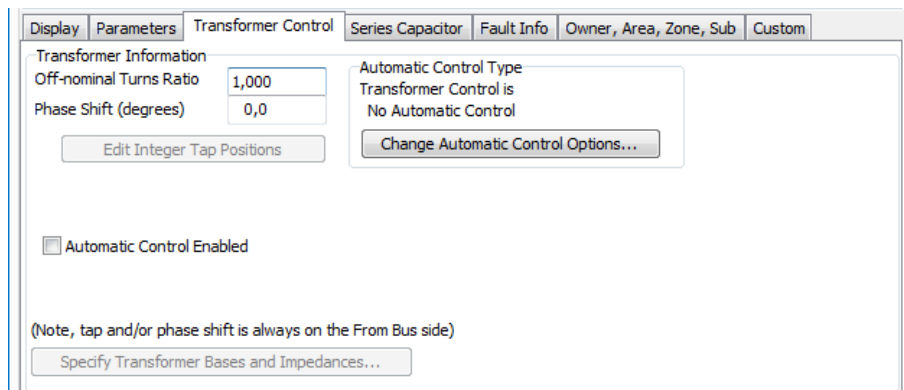


Figura 51 Pestanya Transformer Control.

"Off-nominal TurnsRatio" permet definir la relació de transformació del transformador en el cas que hi hagi una presa de regulació, en tant per u. És a dir, quan aquest valor es troba en 1, la relació del transformador és la nominal, amb els valors esmentats prèviament.

"PhaseShift (Degrees)" permet establir la diferència de fase que es produirà en el transformador entre el bus origen i el bus final.

"ChangeAutomatic Control Options..." obre una finestra emergent amb diferents opcions per tal de que el transformador s'autoreguli per tal d'aconseguir uns resultats concrets en un dels busos.

Una vegada s'hagi fet clic a "OK", com en les línies, apareixerà un gràfic circular al mig del transformador, el qual tindrà les mateixes variables que s'han descrit a l'apartat de línies.

Transformer Control Info

Common Options Time Step Options

Automatic Control Type

- ☐ No Automatic Control
- ☒ Voltage Regulation (AVR)
- ☐ Reactive Power Control
- ☐ Phase Shift Control

Present Tap Ratio 1,01250

Minimum Tap Ratio 0,900000

Maximum Tap Ratio 1,100000

Tap Step Size 0,006250

On System MVA Base

Impedance Correction Table 0

Insert Transformer Correction Table

Regulation Minimum Voltage 0,989000

Regulation Maximum Voltage 0,991000

Regulation Target Type ☒ Middle ☐ Max/Min

Regulated Bus Number 2

Present Reg. Bus Voltage 0,99073

Voltage Error 0,00000

Voltage to Tap Sensitivity

☐ Use Line Drop Compensation

Line Drop Compensation Resistance (R) 0,000000

Line Drop Compensation Reactance (X) 0,000100

Line Drop Impedances are given on the system MVA Base

OK Cancel Help

Figura 52 Finestra opcions Control de Transformador.

"Automatic Control Type" permet definir el tipus de paràmetre que es vol controlar.

Els altres requadres permeten canviar diferents opcions del control automàtic del transformador, tals com la presa de regulació mínima i màxima, la escala de la presa de regulació, el voltatge desitjat (cantonada superior dreta. S'estableix el valor mínim i màxim del voltatge desitjat, en p.u.s, així com si es vol que s'aproximi al valor mitjà o als valors màxim i mínim) i el bus regulat.

2.4.3.6 CONDENSADORS EN SÈRIE/PARAL·LEL

Pels condensadors en sèrie s'haurà de seleccionar la opció "Series Capacitor" al desplegable "Network". S'inserirà entre dos busos i el requadre que sorgirà serà el mateix que per a una línia de transmissió. La pestanya que serà diferent és "Series Capacitor", on es marcarà la casella "Is Series Capacitor", per tal de diferenciar aquest element d'una línia.

Per inserir un bateria de condensadors en sèrie es farà clic a la opció de "Switched Shunt". Seguidament es farà clic al bus desitjat.

Figura 53 Finestra dades Bateria de Condensadors.

Les primeres caselles confirmaran que s'ha inserit al Bus desitjat, així com la ID de la bateria dins del propi Bus, tal i com s'ha esmentat en alguns elements anteriors.

La pestanya "Display" permetrà canviar l'aparença de la bateria de condensadors al diagrama unifilar.

A la pestanya "Parameters" s'hi definirà la potència nominal de la bateria (en MVar). També s'hi pot modificar el tipus de control que tindrà, així com les variables que controlarà i el bus sobre el qual farà efecte.

La pestanya "Control Parameters" s'utilitzarà poques vegades per a opcions molt avançades quan el control ho requereixi.

2.4.4 INSERCIÓ D'ETIQUETES

Una part fonamental dels anàlisis de flux de potència és poder observar la variació de valor de les variables d'una manera ràpida i còmoda. Per aquest motiu s'utilitzaran les etiquetes.

Les etiquetes presenten dades i/o resultats sobre el diagrama unifilar. S'inseriran a través del desplegable "Field", a la secció "Individual Insert", a la pestanya "Draw".

El procediment que es seguirà serà el mateix per tots els elements. La finestra emergent que sorgirà també serà igual, a excepció d'una secció que es comenta posteriorment, en aquest mateix apartat.

Per tal de no repetir el mateix procediment múltiples vegades, es prendrà com a exemple la finestra emergent dels busos i es donaran per enteses les altres.

Figura 54 Finestra inserció d'etiqueta a un Bus.

Al primers desplegable es definirà l'element al qual pertany la etiqueta.

Posteriorment es definirà la quantitat de dígit i decimals desitjats, així com el sufix, en cas de voler marcar les unitats de la mesura. Si és necessari, també es pot definir un prefix de la mateixa manera.

A la secció "Type of Field" és la única que varia depenent de l'element que es vulgui etiquetar. Aquesta secció permet elegir la mesura que es vol mostrar en el diagrama unifilar.

2.5 SIMULACIÓ DE FLUX DE POTÈNCIA

El flux de potència d'un SEP informa sobre la direcció de l'energia i la seva quantitat, pel que es poden conèixer les pèrdues en els diferents elements de transmissió i, per tant, la seva eficiència, així com l'energia rebuda en els punts d'interès.

Per tal de realitzar la simulació, el programa s'ha de trobar en el mode "Run" (executar). D'aquesta manera, es pot dur a terme la simulació amb la configuració per

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

defecte al fer clic a "Play", a la pestanya "Tools". També és possible fer clic a "SolvePowerFlow - Newton", a la mateixa pestanya.

2.5.1 PRESENTACIÓ GRÀFICA

La presentació al diagrama unifilar és la que es veu per defecte quan s'executa l'anàlisi. Els resultats només es modificaran una vegada s'hagi realitzat la simulació, no al canviar les dades.

Es poden modificar les opcions de visualització a l'opció "Online Options", a la pestanya superior "Onelines". Al fer-hi clic, apareixerà una finestra emergent amb diferents pestanyes, com a la figura 55.

- Opcions de visualització ("Display Options"): Permet canviar els elements que es visualitzaran al diagrama unifilar, així com fer èmfasis en alguns concrets i canviar el color de fons, entre d'altres.

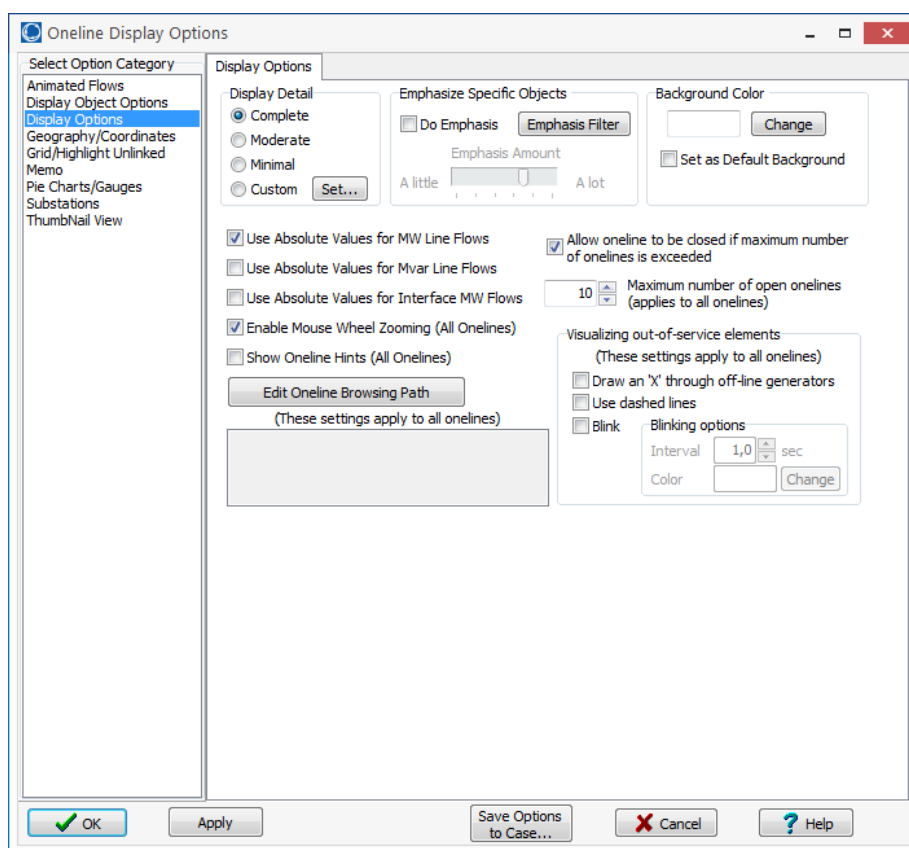


Figura 55 Finestra opcions de visualització.

- Flux animat ("Animated Flux"): Aquest apartat està dedicat a les fletxes que representen el flux de potència així com a la seva animació quan es fa clic al botó "Run".

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

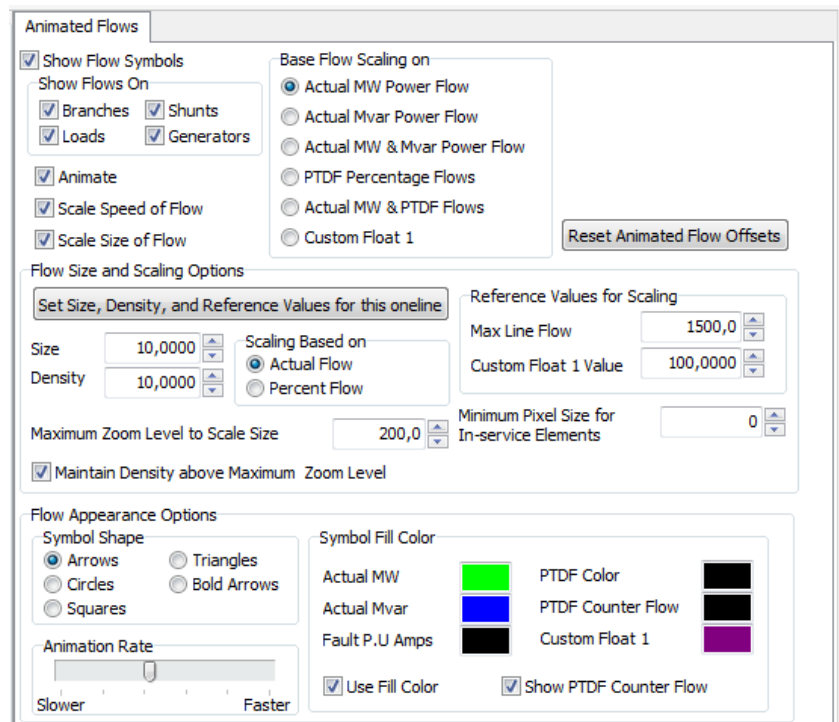


Figura 56 Finestra opcions animació de flux.

- Diagrames Circulars ("Pie Charts"): Permet canviar totes les opcions de visualització en referència amb els diagrames circulars, generalment trobats a les línies i transformadors.

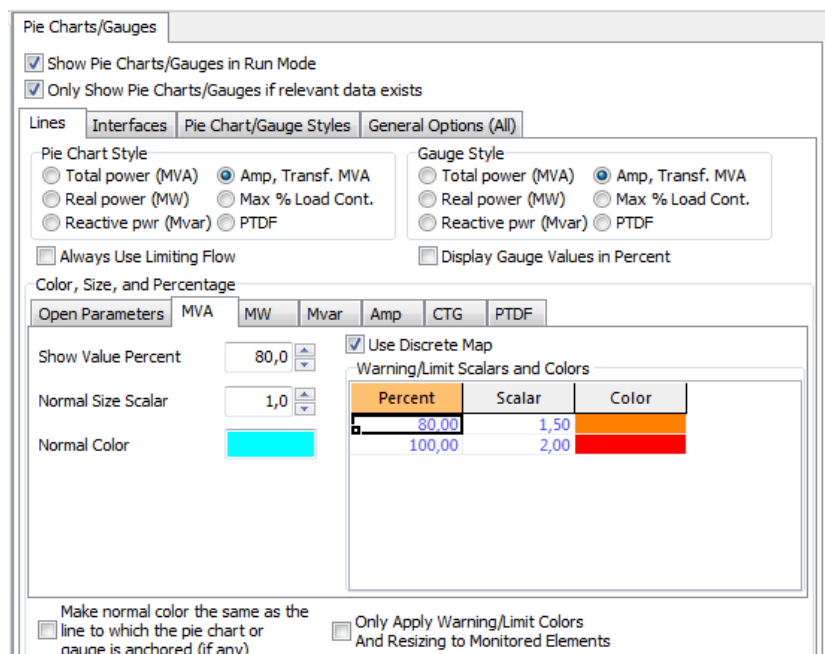


Figura 57 Finestra opcions visualització diagrames circulars.

- Les altres pestanyes presenten informació irrellevant per a la visualització del diagrama, com que aparegui una quadrícula ("grid") quan el programa es trobar en "Edit Mode", o com definir el mapa sobre el que està projectat el diagrama unifilar.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Per defecte, el diagrama unifilar apareixerà representat amb les solucions com a la figura 58.

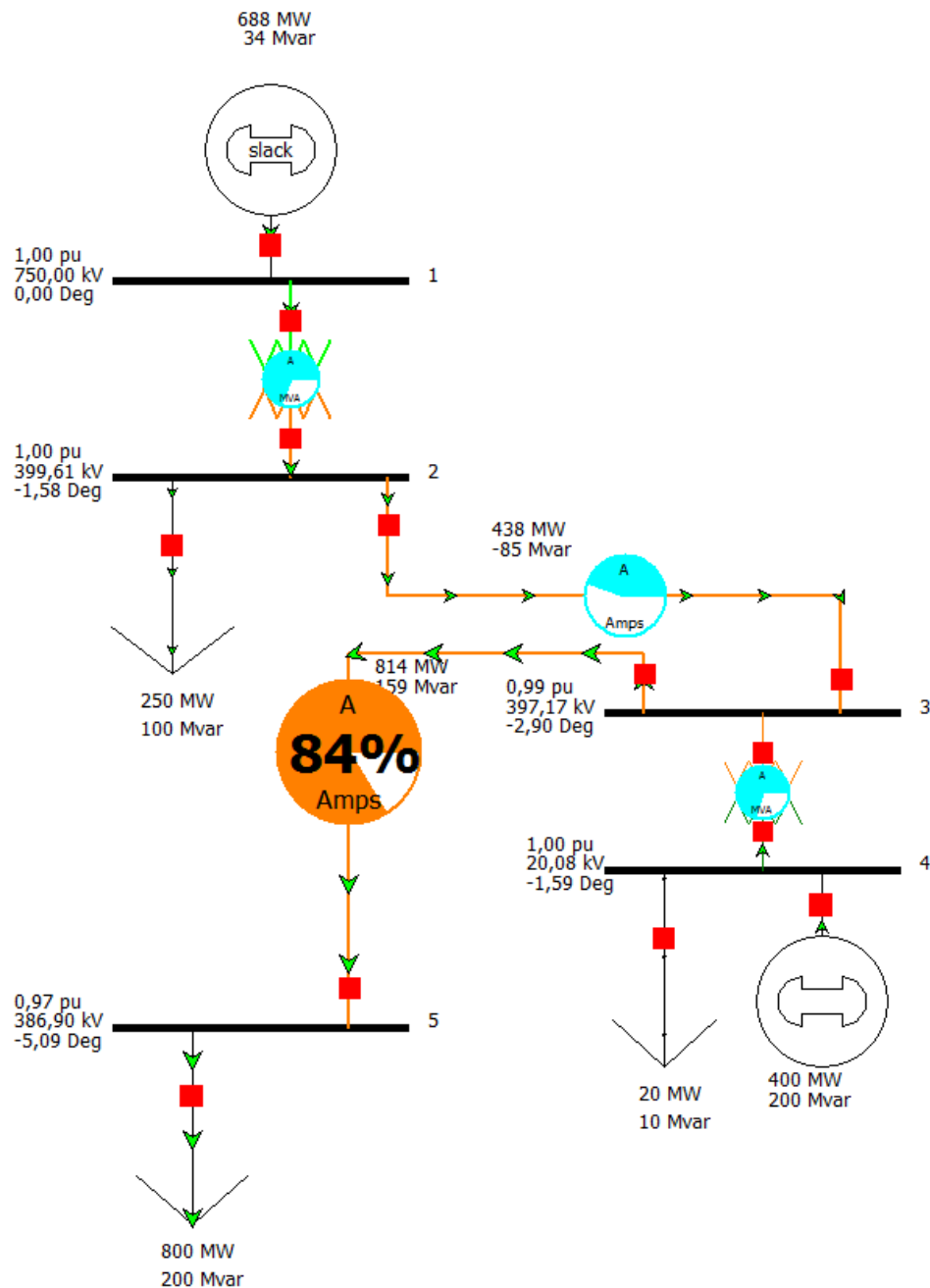


Figura 58 Visualització del flux resultant en diagrama unifilar.

També es pot realitzar una vista més detallada d'algun element o zona en concret. Si en qualsevol bus s'hi fa clic amb el botó dret i, posteriorment, es selecciona "Bus View", apareixerà un diagrama com el de la figura 59 (en aquest cas, correspon al Bus 1 de l'exemple).

Aquesta opció també es pot accedir a través del menú superior, a la pestanya "Case

Information", la opció "Bus View".



Figura 60 Especificació botó Power Flow List.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

BUS	1 1	750,0	MW	Mvar	MVA	%	1,0000	0,00	1 1
GENERATOR	1	687,99	33,81R	688,8					
TO	2 2	1	687,99	33,81	688,8	69	1,0000TA	0,0	
BUS	2 2	400,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9990	-1,58	1 1
LOAD	1	250,00	100,00	269,3	DistGen	0,00	0,00	0,0	
TO	1 1	1	-687,99	-14,83	688,1	69	1,0000NT	0,0	
TO	3 3	1	437,99	-85,27	446,2	45			
BUS	3 3	400,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9929	-2,90	1 1
TO	2 2	1	-434,10	20,60	434,6	43			
TO	4 4	1	-379,97	-179,25	420,1	70	1,0000TA	0,0	
TO	5 5	1	814,13	158,69	829,5	83			
BUS	4 4	20,0	MW	Mvar	MVA	%	1,0040	-1,59	1 1
GENERATOR	1	400,00	200,00H	447,2					
LOAD	1	20,00	10,00	22,4	DistGen	0,00	0,00	0,0	
TO	3 3	1	379,97	190,00	424,8	71	1,0000NT	0,0	
BUS	5 5	400,0	MW	Mvar	MVA	%	0,9672	-5,09	1 1
LOAD	1	800,00	200,00	824,6	DistGen	0,00	0,00	0,0	
TO	3 3	1	-799,89	-199,94	824,5	82			

Figura 61 Visualització dels resultats en mode text.

— Explorador del Model ("Model Explorer"): Des de l'explorador es pot accedir als resultats de tots els elements, ordenats en pestanyes al marge esquerra com es mostra a la figura 62(1).

Es poden filtrar els resultats a través del botó que es marca a la figura 62(2). També es poden obrir els resultats en Excel o copiar-los per a inserir-los en un altre programa (figura 62 (3)).

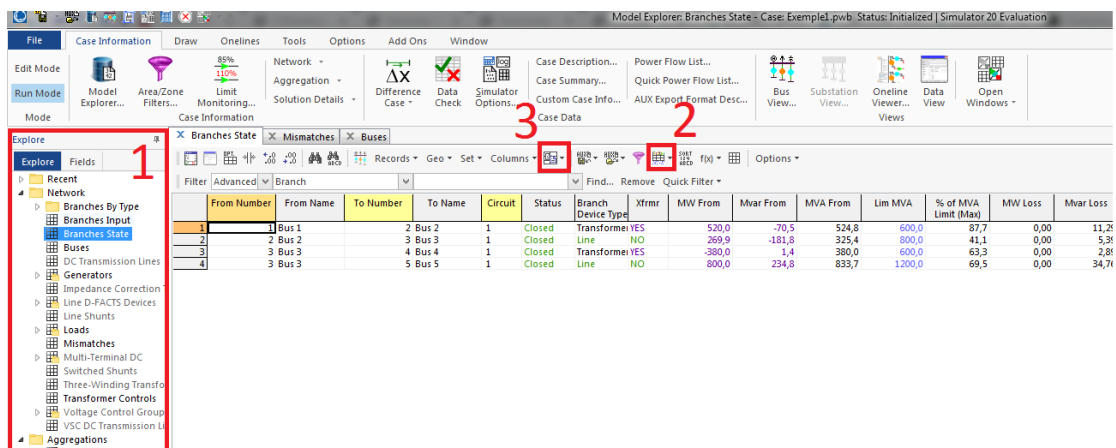


Figura 62 Visualització dels resultats en mode text al Model Explorer.

— Resum del cas ("Case Summary"): A través d'aquest botó, situat al menú superior a la pestanya de "Case Information", es pot accedir a un resum de les dades i resultats del cas estudiat.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Case Description... Power Flow List... Case Summary... Quick Power Flow List... Custom Case Info... AUX Export Format Desc... Case Data

Bus View... Substation View... Online Viewer... Data View Open Windows ▾

Case Summary for Present

Number of Devices in Case

Buses	5	Trans. Lines (AC)	2
Generators	2	Series Capacitors	0
Loads	3	LTCs (Control Volt)	0
Switched Shunts	0	Phase Shifters	0
2 Term. DC Lines	0	Mvar Controlling	0
Multi-Term. DC	0		
Breakers	0	Fuses	0
Disconnects	0	Load Break Disc.	0
ZBRs	0	Ground Disconnects	0
Areas	1	Islands	1
Zones	1	Interfaces	0
Substations	0	Injection Groups	0

Case pathname C:\Users\user\Downloads\TFG\Annex2.PWB

Case Totals (for in-service devices only)

	MW	Mvar
Load	1070,0	310,0
Generation	1088,0	233,8
Shunts	0,0	0,0
Losses	18,1	-76,2
Dist Gen	0,0	0,0

Generator Spinning Reserves

Positive [MW]	Negative [MW]
2912,0	938,0

Negative MW Loads and Generators

	MW	Mvar
Load	0,0	0,0
Generation	0,0	0,0

Slack Buses:

1 (1); in Area 1 (1)

Print ? Help Close

Figura 63 Visualització del resum del cas.

2.6 SIMULACIÓ DE FALTES

Les faltes o curtcircuits en un circuit elèctric es produeixen quan hi ha un contacte entre dos punts que tenen una diferència de potencial. Sol produir-se de manera accidental.

2.6.1 EXPLICACIÓ DE LA INTERFÍCIE

Per accedir al menú de simulació de curtcircuits és necessari estar en el mode "Run". A la pestanya "Tools" i a la secció "Run Mode" s'hi trobarà el desplegable "FaultAnalysis". Si s'hi fa clic, apareixerà el menú mostrat a la figura 64.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

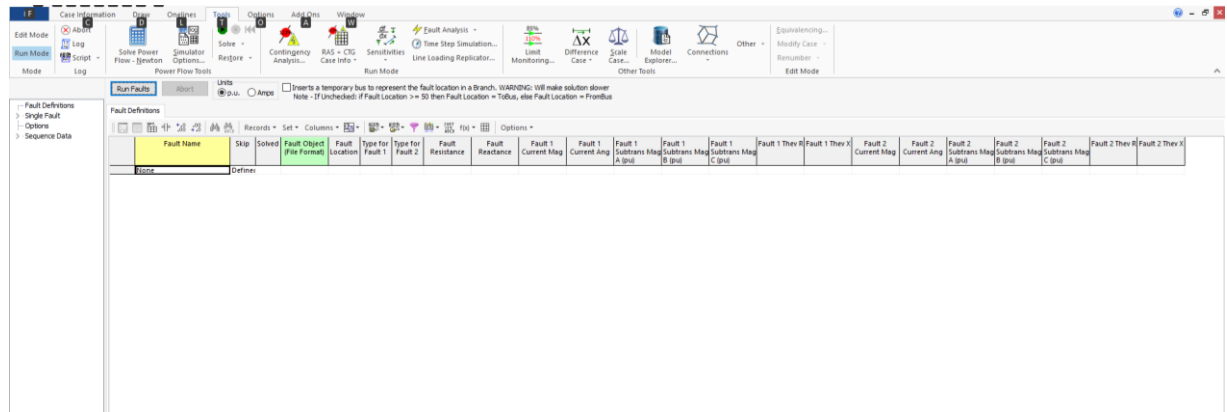


Figura 64 Finestra dedicada a faltes.

El menú consta de diferents pestanyes, situades a l'esquerra. Aquestes permeten realitzar els càlculs de falta directament o canviar els valors predeterminats utilitzats per a aquests càlculs.

- Definicions de falta ("FaultDefinitions"): Permet inserir diferents faltes i analitzar-les per separat, obtenint els valors de les variables que apareixen en els títols de les columnes.

A la part superior de la pestanya s'hi poden elegir les unitats desitjades, p.u.s o Amps.

Immediatament a la dreta d'aquesta opció apareix una casella de verificació que, quan està activada, afegirà un Bus al diagrama unifilar allà on hi hagi la falta (quan es tracti d'una línia).

Per tal d'inserir faltes al circuit, s'ha de fer clic amb el botó dret i seleccionar "Insert". En el requadre que apareixerà s'hi pot seleccionar si la falta es produeix en un Bus o en una línia/transformador ("Branch"), així com seleccionar l'element del diagrama unifilar del qual es tracta.

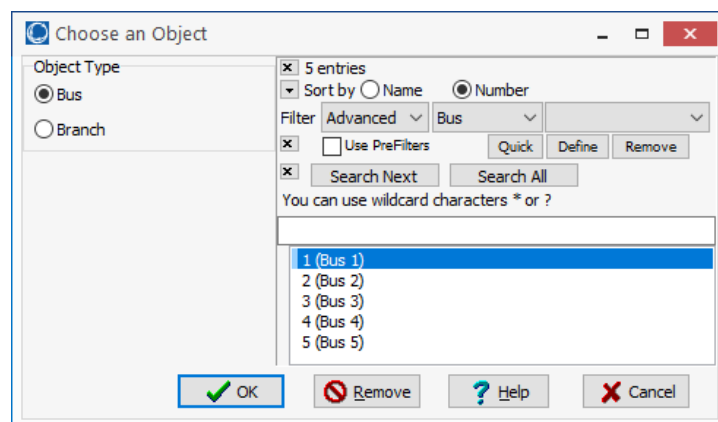


Figura 65 Selecció de l'element al qual es vol aplicar la falta.

En el cas d'inserir una falta a una línia/transformador, s'haurà d'especificar a la

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

taula en quin percentatge de la longitud d'aquest/a succeeix (columna "FaultLocation").

Si la falta es produeix en un Bus, aquesta columna no s'omplirà.

A la columna "Type for Fault 1/2" s'hi seleccionarà el tipus de falta, sent 3PB el curtcircuit trifàsic balancejat, SLG el curtcircuit d'una fase a terra, LL curtcircuit de línia a línia i, per últim, DLG és el curtcircuit de doble fase a terra.

"FaultResistance" i "FaultReactance" s'ompliran amb la Resistència i la Reactància de falta, respectivament.

En les columnes posteriors s'hi trobaran els resultats (el programa permet calcular de forma paral·lela i independent dues faltes en el mateix element, d'aquí "Fault 1" i "Fault 2").

- Falta Individual ("Single Fault"): En aquesta pestanya hi ha les eines per estudiar detalladament una falta en concret. Hi ha diferents seccions amb opcions.

A la part dreta s'hi troben les opcions principals.

Subtransient Phase Current		
	p.u.	deg.
A	0,000	0,00
B	0,000	0,00
C	0,000	0,00

Figura 66 Opcions de Falta Individual.

- Localització de la Falta ("FaultLocation"): Permet elegir on es troba la falta, si en un bus o en una línia/transformador ("Brunch"). Si s'ha elegit línia/transformador, just a sota apareixerà un requadre on es pot definir la localització exacta de la falta a la línia en percentatge de longitud.
- Tipus de Falta ("FaultType"): Es pot determinar si la falta serà d'una sola fase a terra, de fase a fase, falta trifàsica o doble fase a terra.
- Impedància de Falta ("FaultImpedance"): Permet definir la resistència i reactància de curtcircuit.
- Corrent de Falta ("FaultCurrent"): Mostra els resultats sobre el corrent de curtcircuit. A la part inferior d'aquesta secció s'hi poden elegir les unitats (Amperes o p.u.s).

A la part esquerra s'hi pot elegir l'element al que s'hi produeix el curtcircuit.

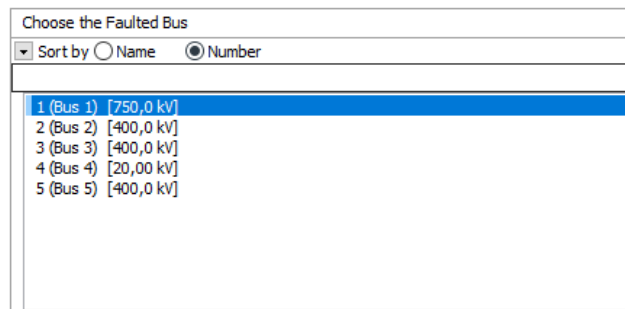


Figura 67 Selecció de l'element al qual aplicar la falta en el mode de falta individual.

A la part inferior s'hi mostren els resultats en els diferents elements, així com la matriu Y-Bus del circuit amb la falta.

Bus Records								
Lines Generators Loads Switched Shunt Buses Y-Bus Matrices								
	Number	Name	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
1	1	Bus 1						
2	2	Bus 2						
3	3	Bus 3						
4	4	Bus 4						
5	5	Bus 5						

Figura 68 Taula de resultats de falta.

- Opcions (“Options”): Permet canviar les condicions prèvies a la falta.

Options

Pre Fault Profile

☒ Solved Power Flow
☐ Flat IEC-909
☐ Flat Classical
☐ Use Existing Voltages

Online Display

☒ Normal
☐ All Phases
☐ Phase A
☐ Phase B
☐ Phase C

Profile Options

IEC Parameters

Voltage pu
Gen. PF deg

☒ XF turns ratios set to 1.0
☒ Line charging set to 0

Shunt Elements

☐ Normal
☒ + Sequence 0
☐ All Sequences 0

Figura 69 Opcions de càlcul de falta.

- Descripció de la Pre Falta (“PreFaultProfile”): Permet elegir entre diferents situacions immediatament anteriors al curtcircuit.
- Opcions de la Pre Falta (“ProfileOptions”): Aquestes opcions s’activaran al seleccionar un tipus de situació prèvia a la falta concreta.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Paràmetres IEC: només disponible si s'ha seleccionat "Flat IEC-909".

Permet establir els paràmetres requerits per a realitzar el càlcul segons el model IEC-909.

Les altres opcions d'aquesta secció estaran disponibles si es selecciona qualsevol condició prèvia plana ("flat").

Shunt Elements: Permet seleccionar la manera en la que es tracten les bateries de condensadors en paral·lel.

"XF turnsratio set to 1.0": A l'activar aquesta casella de verificació, la presa de regulació dels transformadors es trobarà al seu valor nominal durant la simulació de curtcircuit.

"LineCharging set to 0": Si es troba activa s'ignoraran les branques de buit en les línies.

- "Online Display": Permet seleccionar quines fases seran visibles al diagrama unifilar quan es realitzi la simulació. Cal a dir que, per a poder seleccionar qualsevol opció, s'ha de primer calcular la falta. Sinó, apareixerà en gris com en la figura 69.

- Sequence Data: Pestanya que disposa de les diferents opcions necessàries per a definir les impedàncies en el cas d'un curt circuit asimètric (fase - terra, fase - fase o doble fase - terra).

Disposa de diferents pestanyes, una per cada tipus d'element.

2.6.2 DEFINICIÓ DELS PARÀMETRES DE CURTCIRCUIT

Per tal de realitzar correctament l'anàlisi de curtcircuit, s'hauran d'inserir les dades necessàries en els diferents elements del SEP.

Les dades a definir seran les següents:

L1: Impedància seqüència Zero	
r (pu)	0,04
x (pu)	0,17
c (pu)	0

Taula 7 Dades Impedància Seqüencial Zero L1.

L2: Impedància seqüència Zero	
r (pu)	0,03
x (pu)	0,16
c (pu)	0

Taula 8 Dades Impedància Seqüencial Zero L2

T1			
Impedància seqüència Zero		Configuració	
r (pu)	0	Delta-Delta	
x (pu)	0,062		
c	0		

Taula 9 Paràmetres de falta T1.

T2			
Impedància seqüència Zero		Configuració	
r (pu)	0	Delta-Y	
x (pu)	0,059		
c	0		

Taula 10 Paràmetres de falta T2.

G2	
x1 (pu)	0,15
x2 (pu)	0,18
x0 (pu)	0,1

Taula 11 Impedància Seqüencial G2.

En tots els punts esmentats a continuació, s'haurà d'accedir a la pestanya "Fault Parameters" de l'element en qüestió.

- Generadors: S'activarà la opció "Neutral Grounded" en el cas que el generador es trobi connectat a terra. Si aquesta connexió es troba realitzada a través

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

d'una impedància, aquesta es definirà en la secció "Neutral-to-Ground Impedance". Les impedàncies de seqüència positiva, negativa i zero es definiran en la secció "Internal Sequence Impedances". Per últim, a la secció "Generator Step Transformer", es definiran la impedància de seqüència homopolar i la posició de la presa de regulació quan succeeixi el curtcircuit, sempre i quan aquesta última no hagi estat definida de manera explícita en els paràmetres del flux de potència.

Generator Impedances			
<input checked="" type="checkbox"/> Neutral Grounded			
Internal Sequence Impedances			
	R :	X :	
Positive	0,00000	0,15000	
Negative	0,00000	0,13000	
Zero	0,00000	0,10000	
Generator Step Transformer			
R:		0,00000	
X:		0,00000	
Tap:		1,00000	
Neutral-to-Ground Impedance			
R :		0,00000	
X :		0,00000	

Figura 70 Pestanya Paràmetres de Falta d'un Generador.

- Línies: La casella de verificació permet tractar la línia com un circuit obert durant la simulació.

Les dades a definir són la Impedància Seqüencial homopolar i, en el cas que existeixin, l'admitància dels elements de compensació situats als extrems. Si està definida, la impedància del neutre s'indicarà a la secció "Neutral Impedance".

La secció "Ground Impedance" està desactivada ja que només s'utilitza per als transformadors.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Display	Parameters	Fault Info	Owner, Area, Zone, Sub	Custom	Stability
---------	------------	------------	------------------------	--------	-----------

☐ Treat as open circuit in zero sequence

Zero Sequence Impedance

R : 0,025000

X : 0,062500

C : 0,000000

Zero Sequence Line Shunt Admittance

From G: 0,000000

From B: 0,000000

To G: 0,000000

To B: 0,000000

Ground Impedance

R : 0,000000

X : 0,000000

R2 : 0,000000

X2 : 0,000000

Secondary Zero Sequence Imp

R2 : 0,000000

X2 : 0,000000

Neutral Impedance

Neutral R : 0,000000

Neutral X : 0,000000

R and X are values on the From side
R2 and X2 are values on the To side

Note: Configuration only determines the grounding of the transformer windings.
Phase shifters must be entered as part of the Transformer Control data.

Figura 71 Pestanya Paràmetres de Falta d'una Línia.

- Transformadors: S'indicaran els mateixos paràmetres que en les línies. A més a més, s'indicarà també la connexió del transformador en el desplegable "Configuration" de la part inferior. En funció a la connexió elegida, es podrà determinar la impedància de posada a terra del primari, del secundari o de cap de les dues. En el cas que es desitgi establir un desfasament entre el primari i el secundari degut a la connexió del bobinat del transformador, s'haurà d'indicar a la pestanya "Transformer Control". Habitualment aquest paràmetre ja s'haurà definir prèviament en l'anàlisi de flux de potència.

Display	Parameters	Transformer Control	Fault Info	Owner, Area, Zone, Sub	Custom	Stability
---------	------------	---------------------	------------	------------------------	--------	-----------

☐ Treat as open circuit in zero sequence

Zero Sequence Impedance

R : 0,000000

X : 0,020000

C : 0,000000

Zero Sequence Line Shunt Admittance

From G: 0,000000

From B: 0,000000

To G: 0,000000

To B: 0,000000

Ground Impedance

R : 0,000000

X : 0,000000

R2 : 0,000000

X2 : 0,000000

Secondary Zero Sequence Imp

R2 : 0,000000

X2 : 0,000000

Neutral Impedance

Neutral R : 0,000000

Neutral X : 0,000000

R and X are values on the From side
R2 and X2 are values on the To side

Configuration: Ground Path Wye-Grounded Wye

Note: Configuration only determines the grounding of the transformer windings.
Phase shifters must be entered as part of the Transformer Control data.

Figura 72 Pestanya Paràmetres de Falta d'un Transformador.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

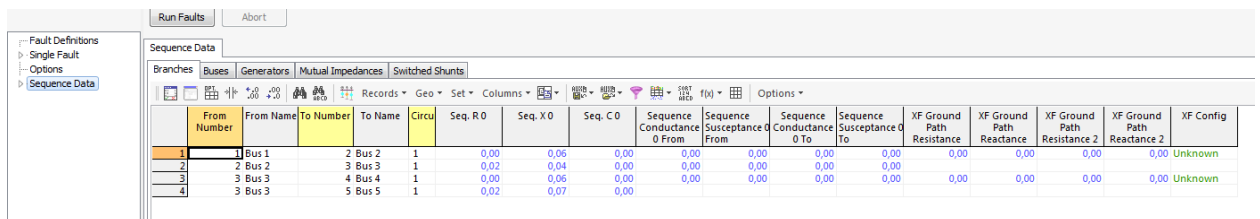
Albert Murcia Catalan

- Bateria de condensadors: Les bateries de condensadors es tracten com a circuits oberts en l'anàlisi de curtcircuits. Per tant, no s'hi definirà cap dada.

Hi ha altres maneres d'inserir les impedàncies seqüencials per als diferents elements.

La primera ja s'ha esmentat quan s'ha explicat la interfície dels anàlisis de curtcircuit.

Aquesta és a través de la pestanya "Sequence Data" de la part esquerra de la finestra que apareix al fer clic al botó "Fault Analysis".



	From Number	From Name	To Number	To Name	Circuit	Seq. R 0	Seq. X 0	Seq. C 0	Sequence Conductance 0 From	Sequence Susceptance 0 From	Sequence Conductance 0 To	Sequence Susceptance 0 To	XF Ground Path Resistance	XF Ground Path Reactance	XF Ground Path Resistance 2	XF Ground Path Reactance 2	XF Config
1	1	Bus 1	2	Bus 2	1	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Unknown
2	2	Bus 2	3	Bus 3	1	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Unknown
3	3	Bus 3	4	Bus 4	1	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Unknown
4	3	Bus 3	5	Bus 5	1	0,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Unknown

Figura 73 Pestanya d'Inserció d'impedàncies seqüencials comú.

La segona és accedir a les pestanyes de Fault Info per a cada element a través de la finestra del "Model Explorer". Això es du a terme fent clic amb el botó dret del ratolí al nom de l'element que s vol modificar i seleccionar "Show Dialog". D'aquesta manera, és segueix un procediment més lineal i s'evita la possibilitat d'oblidar-se d'elements.

Com calcular faltes a un Bus

Per tal d'explicar detalladament el procediment a seguir, es prendrà com a exemple un curtcircuit fase-fase en el bus 5. Existeixen dues maneres de dur a terme aquest càlcul. Les dues es duen a terme a partir de la finestra "Fault Analysis".

- La primera manera es a través de la pestanya "Fault Definitions". Aquest procediment és menys detallat i els resultats obtinguts són més generals. Es fa clic amb el botó dret sobre la taula i es selecciona la opció "Insert". Es selecciona el bus 5 i es fa clic a OK.

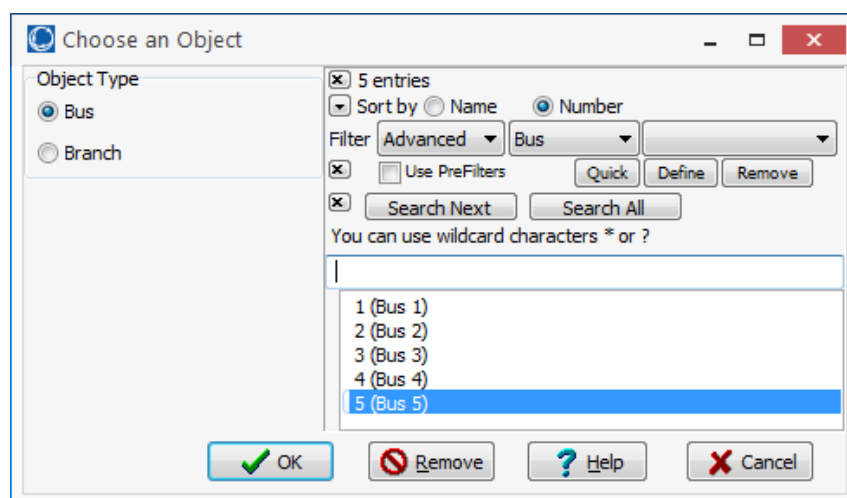
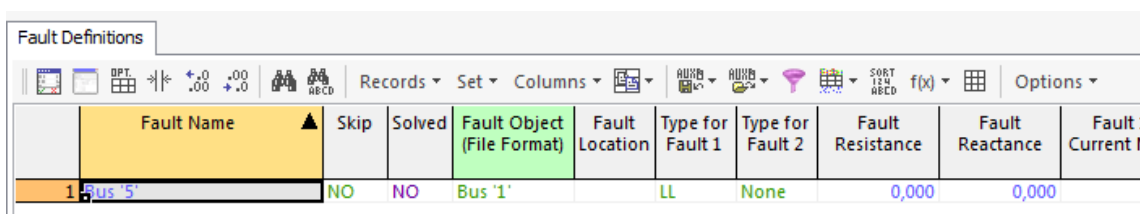


Figura 74 Selecció d'un Bus per calcular falta, pestanya Fault Definitions.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

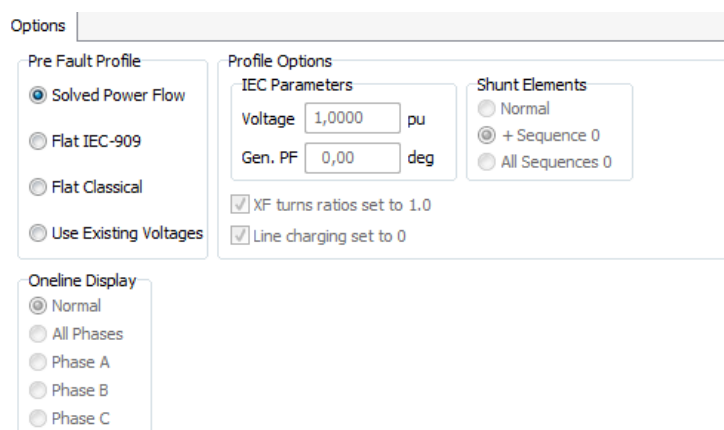
A continuació es definirà el tipus de falta "LL" ("Line to Line") a la columna "Type for Fault 1". En el cas que es volguessin estudiar dues faltes diferents en aquest bus, es seleccionaria el tipus de curtcircuit desitjat en la columna següent, "Type for Fault 2". En el cas que es conegui la impedància de falta, s'ompliran les columnes següents, "Fault Resistance" i "Fault Reactance". Com ja s'han definit valors de falta per a tots els elements als quals era necessari, s'ignoraran aquestes dues columnes.



	Fault Name	Skip	Solved	Fault Object (File Format)	Fault Location	Type for Fault 1	Type for Fault 2	Fault Resistance	Fault Reactance	Fault Current
1	Bus '5'	NO	NO	Bus '1'		LL	None	0,000	0,000	

Figura 75 Selecció del tipus de falta, pestanya Fault Definitions.

A continuació, s'elegirà la situació immediatament anterior a la falta, a la pestanya de "Options" d'aquesta mateixa finestra.



Options

Pre Fault Profile

- ☒ Solved Power Flow
- ☐ Flat IEC-909
- ☐ Flat Classical
- ☐ Use Existing Voltages

Profile Options

IEC Parameters

Voltage: 1,0000 pu

Gen. PF: 0,00 deg

Shunt Elements

- ☐ Normal
- ☒ + Sequence 0
- ☐ All Sequences 0

Online Display

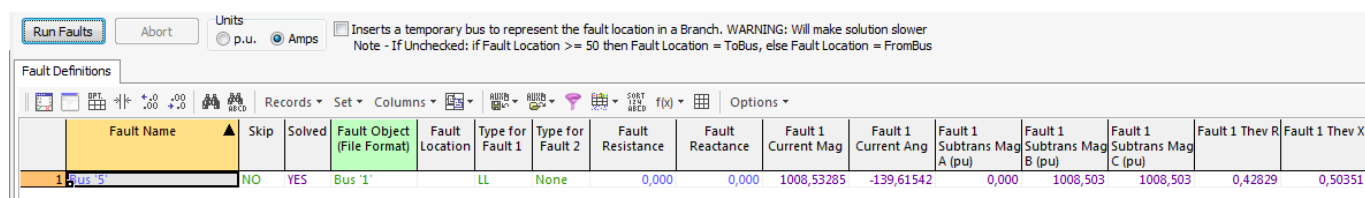
- ☒ Normal
- ☐ All Phases
- ☐ Phase A
- ☐ Phase B
- ☐ Phase C

Figura 76 Selecció d'opcions de pre falta.

Es seleccionarà "Solved Power Flow" ja que la situació prèvia al curtcircuit en aquest cas es la calculada a l'anàlisi de flux de càrregues (el sistema es trobava carregat com s'ha definit prèviament).

Seguidament, es farà clic a "Run Faults" i apareixeran els resultats en les columnes "Fault 1...".

Si es desitja que els resultats apareguin en Amperes, es seleccionarà la casella "Amps" a la part superior.



	Fault Name	Skip	Solved	Fault Object (File Format)	Fault Location	Type for Fault 1	Type for Fault 2	Fault Resistance	Fault Reactance	Fault 1 Current Mag	Fault 1 Current Ang	Fault 1 Subtrans Mag A (pu)	Fault 1 Subtrans Mag B (pu)	Fault 1 Subtrans Mag C (pu)	Fault 1 Thev R	Fault 1 Thev X
1	Bus '5'	NO	YES	Bus '1'		LL	None	0,000	0,000	1008,53285	-139,61542	0,000	1008,503	1008,503	0,42829	0,50351

Figura 77 Taula de resultats de falta, pestanya Fault Definitions.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Com a apunt, una altra manera d'accedir més fàcilment a aquest menú és fer clic amb el botó dret sobre el diagrama unifilar a l'element on es desitja que hi hagi la falta. Es selecciona la opció "Fault" i immediatament apareix aquest element a la taula.

- La segona manera de calcular faltes permet obtenir uns resultats més detallats. A la mateixa secció de "Fault Analysis" es selecciona la pestanya "Single Fault", que permet estudiar una sola falta més extensivament.

Es selecciona l'element sobre el qual es vol que hi hagi la falta, en aquest cas el bus 5.

Choose the Faulted Bus

Sort by ☐ Name ☒ Number

1 (Bus 1)	[750,0 kV]
2 (Bus 2)	[400,0 kV]
3 (Bus 3)	[400,0 kV]
4 (Bus 4)	[20,00 kV]
5 (Bus 5)	[400,0 kV]

Fault Location

☒ Bus Fault
☐ In-Line Fault

Location %

Fault Impedance

R : 0,00000
X : 0,00000

Figura 78 Selecció de falta a un bus, pestanya Single Fault.

Com en l'anterior opció, es definirà la impedància de falta en el cas que sigui necessari.

En el requadre situat a la part superior dreta es selecciona el tipus de falta desitjat (en aquest cas, "Line-to-Line") així com les unitats desitjades. Els altres requadres mostraran part dels resultats.

Fault Location

☒ Bus Fault
☐ In-Line Fault

Location %

Fault Impedance

R : 0,00000
X : 0,00000

Fault Type

☐ Single Line-to-Ground
☒ Line-to-Line
☐ 3 Phase Balanced
☐ Double Line-to-Ground

Fault Current

Scale Current By: 1,00000

If Magnitude: 0,000 Amps
If Scaled Mag: 0,000 Amps
If Angle: 0,00 deg.

Units

☐ p.u.
☒ Amps

Subtransient Phase Current

	Amps	deg.
A	0,000	0,00
B	0,000	0,00
C	0,000	0,00

Figura 79 Opcions de falta, pestanya Single Fault.

S'haurà de definir, com en el mètode previ, la situació de anterior a la falta. Per defecte ja serà la desitjada en aquest cas. Si es volgués canviar s'hi accedeix a través de la pestanya de "Options" d'aquesta mateixa finestra.

Es farà clic a "Calculate" i apareixeran els resultats en dues zones. La primera és la de la falta en sí mateixa, la zona de la figura 79.

La segona es troba a la taula inferior, on hi ha diferents pestanyes (figura 80). S'hi poden trobar els voltatges en els busos, els corrents de falta per cada fase i per cada línia, transformador, generador i bateria de condensadors. També s'hi

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

pot trobar la matriu d'admitàncies de totes les seqüències.

Bus Records								
Lines Generators Loads Switched Shunt Buses Y-Bus Matrices								
Records Geo Set Columns								
	Number	Name	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
1	1	1	1,00000	0,41740	0,58985	0,00	-171,82	174,22
2	2	2	0,99903	0,43790	0,56688	-1,58	-174,59	173,03
3	3	3	0,99292	0,45865	0,53683	-2,90	-178,45	173,30
4	4	4	1,00401	0,44640	0,56301	-1,59	-174,93	173,14
5	5	5	0,96725	0,48362	0,48362	-5,09	174,91	174,91

Figura 80 Resultats simulació falta Bus, pestanya Single Fault.

Com calcular faltes a una línia

Com a exemple, es suposarà un curtcircuit trifàsic de la línia que va dels bus 3 al 5, a una distància del 40% d'aquesta.

El mètode per calcular faltes a una línia és molt similar al utilitzat per als busos. Les úniques diferències seran: especificar que es tracta d'una línia i indicar a quina longitud de la línia ha ocorregut el curtcircuit.

En el primer mètode, s'especificarà que és una línia ("Branch") en la finestra emergent un cop es fa clic a "Insert", tal com es mostra a la figura.

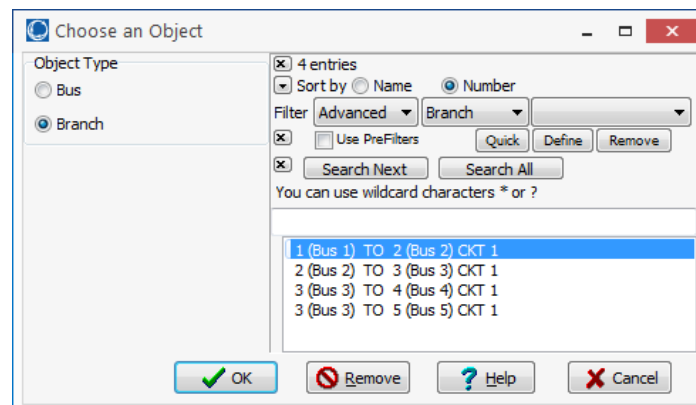


Figura 81 Selecció d'una línia per calcular falta, pestanya Fault Definitions.

Posteriorment, a la columna de "Fault Location" s'especificarà la longitud des del inici de la línia (FROM) fins a la falta, en percentatge de la longitud de la línia en qüestió. En aquest exemple serà del 40%.

Fault Definitions							
Records Set Columns							
	Fault Name	Skip	Solved	Fault Object (File Format)	Fault Location	Type for Fault 1	Type for Fault 2
1	Branch '3' '5' '1'	NO	NO	Branch '3' '5'	40,0	3PB	None

Figura 82 Opcions de falta, pestanya Fault Definition.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

En el segon mètode, primerament s'elegirà que es vol estudiar el curtcircuit d'una línia.

Tot seguit, s'haurà de definir els busos d'origen i destí tal com es mostra a la figura 83.

Search For Near Bus	Select Far Bus, CKT
1 (Bus 1) [750,0 kV]	2 (Bus 2) [400,0 kV] CKT 1
2 (Bus 2) [400,0 kV]	4 (Bus 4) [20,00 kV] CKT 1
3 (Bus 3) [400,0 kV]	5 (Bus 5) [400,0 kV] CKT 1
4 (Bus 4) [20,00 kV]	
5 (Bus 5) [400,0 kV]	

Figura 83 Selecció de falta a una línia, pestanya Single Fault.

Fault Location <input type="radio"/> Bus Fault <input checked="" type="radio"/> In-Line Fault	Fault Type <input type="radio"/> Single Line-to-Ground <input type="radio"/> Line-to-Line <input checked="" type="radio"/> 3 Phase Balanced <input type="radio"/> Double Line-to-Ground
Location % 40	Fault Current Scale Current By: 1,00000 If Magnitude: 0,000 p.u. If Scaled Mag: 0,000 p.u. If Angle: 0,00 deg. Units: <input checked="" type="radio"/> p.u. <input type="radio"/> Amps
Fault Impedance R : 0,00000 X : 0,00000	Subtransient Phase Current p.u. deg. A 0,000 0,00 B 0,000 0,00 C 0,000 0,00

Figura 84 Opcions de falta, pestanya Single Fault.

Un cop fet això, com en el cas dels busos, es farà clic a "Calculate" i apareixeran els resultats en la taula de la part inferior de la pestanya.

Obtenir resultats gràficament

Un cop s'hagi fet l'anàlisi de la falta en un bus o en una línia, es podran observar els corrents de curtcircuit al diagrama unifilar. Per tal d'aconseguir-ho, s'haurà de fer clic a la pestanya de "Options" i seleccionar les fases que es desitgen observar al diagrama unifilar.

En el cas del curtcircuit a una línia, apareixerà un nou bus que indicarà gràficament el punt on ha ocorregut la falta.

Albert Murcia Catalan



3. SIMULACIÓ DE FALTES EN SIMULINK

En aquest apartat es desenvoluparà de forma breu la simulació de curtcircuits en el programa Simulink, de MATLAB.

3.1 VERSIÓ MATLAB I SIMULINK

La versió utilitzada en aquest manual d'usuari és la versió de prova R2019a, sent la versió d'estudiant insuficient degut a la manca de la llibreria "Simscape", a la qual s'inclouen tots els blocs d'electricitat.

Els requisits del sistema per a utilitzar aquest programa estan especificats en la pàgina web oficial. Aquests són:

- Qualsevol targeta gràfica Inter o AMD amb un processador x86-64.
- 5-8 GB de memòria al disc dur o sòlid.
- Windows 10/Windows 7.

3.2 INTERFÍCIE D'USUARI NECESSÀRIA

Tal com ja s'ha esmentat en la introducció, la finalitat de calcular i simular faltes en MATLAB Simulink és comparar-lo amb PowerWorld. Per aquest motiu, s'explicaran les eines necessàries i suficients, sense entrar en detalls.

Primerament, per tal d'obrir el Simulink, s'ha d'obrir el MATLAB. Un cop fet això, s'ha de fer clic a la icona "Simulink" del menú superior, situada a la pestanya "Home" (tal com es mostra a la figura 86).

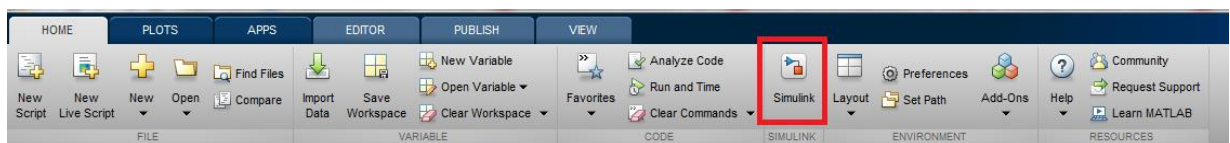


Figura 86 Botó accés Simulink.

A continuació, s'obrirà una finestra emergent en la que s'haurà de seleccionar l'arxiu que es vol obrir o, si se'n vol començar un, quin tipus de plantilla s'utilitzarà.

En aquest cas es seleccionarà "Blank Model".

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

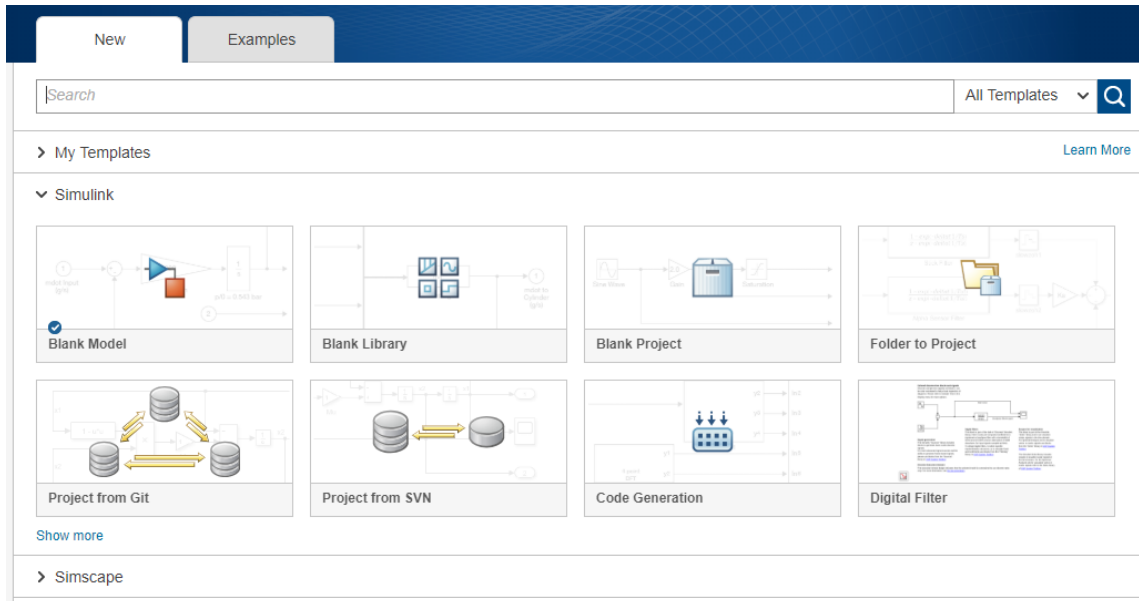


Figura 87 Creació cas en blanc Simulink.

Un cop s'hi fa clic, carregarà una finestra nova, que serà el que s'utilitzarà com a entorn de simulació: Simulink.

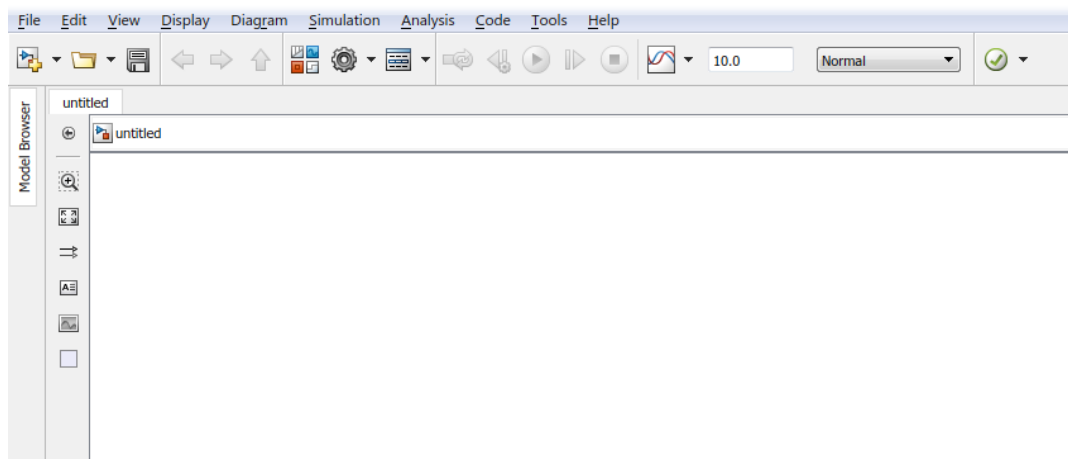


Figura 88 Interfície Simulink.

Les opcions del menú que s'utilitzaran en aquest exemple són:

- Guardar: Mitjançant el botó amb la icona d'un disquet, ctrl+S o al desplegable "File" i posteriorment "Save".
- Llibreria: S'hi accedeix fent clic a la icona situada a l'esquerra de l'engranatge, Control+Shift+L o fent clic al desplegable "View" i posteriorment "Library Browser". Permet l'accés a tots els elements necessaris per la simulació.
- Configuració del model/simulació: S'hi accedeix fent clic a la icona de l'engranatge, Control+E o fent clic al desplegable "Simulation" i seleccionant "Model Configuration Parameters". És útil per canviar les opcions de simulació, tals com el tipus de solució (continua o discreta) amb gran quantitat de variants.
- Executar Simulació: Aquesta icona apareix en gris a la figura 88. Això és degut

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

a que no es pot realitzar la simulació ja que no hi ha elements. En el cas de que si es pogués, apareixeria en verd. És el botó que té la icona de "Play".

3.3 CREACIÓ DEL SISTEMA ELÈCTRIC DE POTÈNCIA

3.3.1 INSERCIÓ D'ELEMENTS

Els elements s'inseriran a la pantalla blanca situada al centre de la finestra. Això és, des de la llibreria, es farà clic a sobre seu i, sense deixar el ratolí, s'arrossegaran a la pantalla blanca.

Tots els elements elèctrics utilitzats en aquest exemple provenen de la llibreria de Simscape, de la categoria de "Electrical". En concret, la carpeta utilitzada per als SEP serà "Specialized Power Systems", "Fundamental Blocks". A partir d'ara es donarà per entès que tots els elements elèctrics es troben en subcarpetes d'aquesta, pel que no es repetirà cada vegada la ruta sencera.

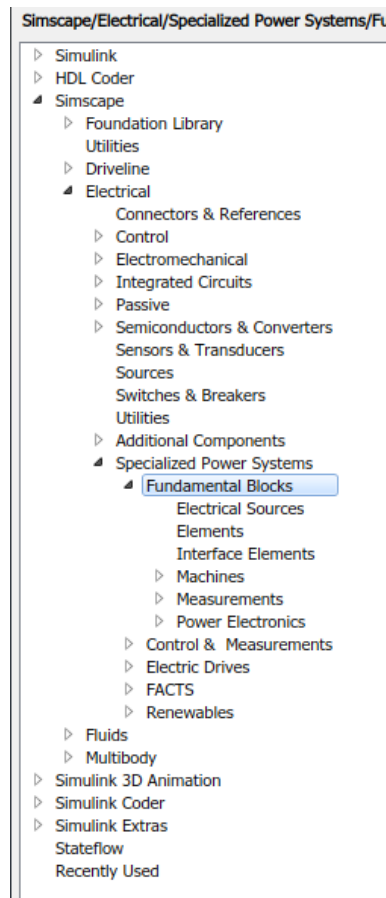


Figura 89 Llibreria Simulink.

- Generadors: S'accedirà a la carpeta "Electrical Sources". Allà es podrà elegir entre generadors monofàsics i trifàsics. L'utilitzat en la majoria dels casos serà

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

"Three-Phase Source".

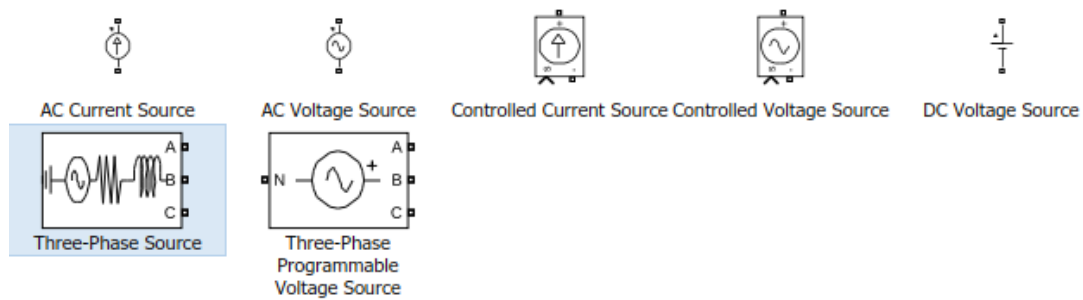


Figura 90 Apartat Electrical Sources Llibreria.

- Transformadors, línies i càrregues: Estan situats a la carpeta de "Elements". En concret, s'utilitzaran "Distributed Parameters Line" com a línia, "Three-Phase Transformer ..." com a transformador (depenent de la situació s'elegirà un tipus o un altre) i "Three-Phase Serie RLC Load" com a càrrega.

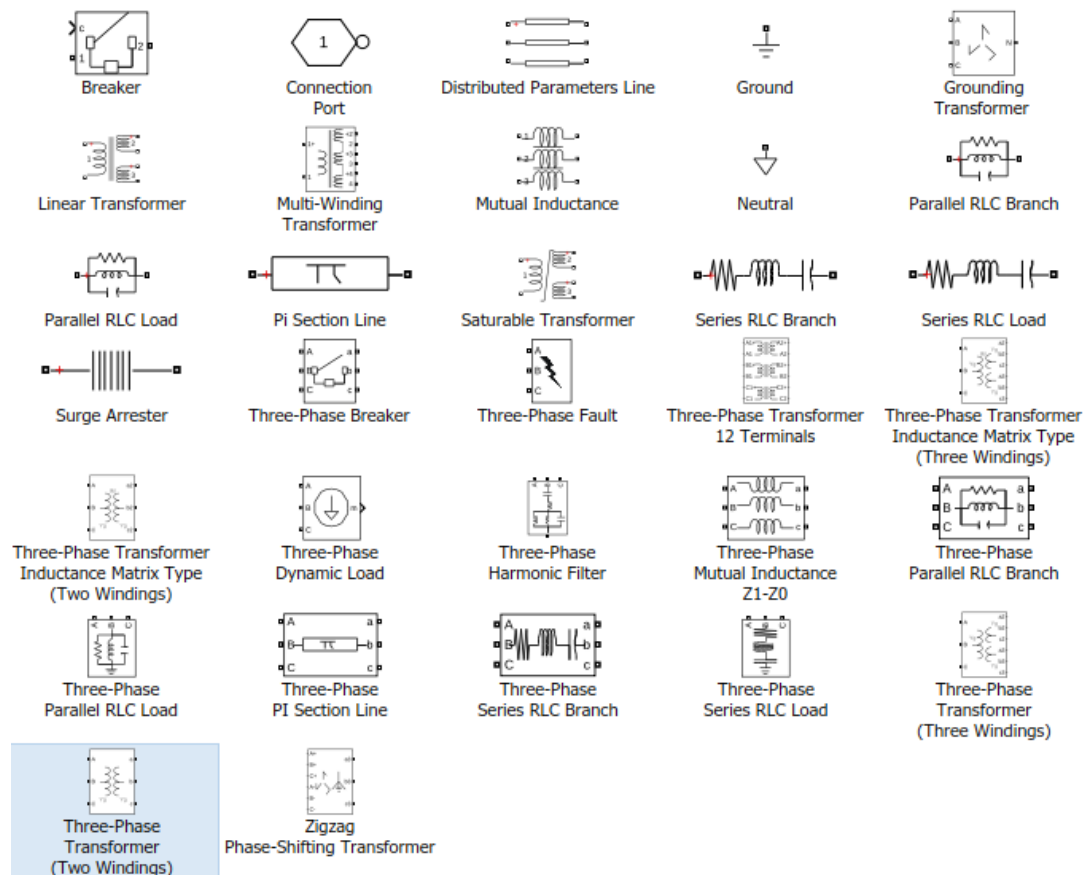


Figura 91 Apartat Elements Llibreria.

- Falta: També s'introdueix des del mateix menú que els elements anteriors. El bloc s'anomena "Three-Phase Fault", que significa falta trifàsica. Tot i el seu nom, permet simular tots els tipus de faltes, sempre i quan el sistema sigui trifàsic.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

- Mesures: A Simulink no hi ha Busos com a tal. Per això, en les zones en les que es vulgui calcular el voltatge o la intensitat, s'haurà de col·locar un bloc de mesura. Aquests es troben a la carpeta "Measurements", dins de les llibreries especificades prèviament. El bloc més complet és "Three-Phase V-I measurement", ja que dóna tota la informació dels corrents i tensions en aquell punt. Si no és necessària tanta informació, es pot utilitzar un bloc més simple com "Current Measurement" o "Voltage Measurement". En el cas de necessitar la mesura de variables més complexes, els blocs necessaris es trobaran, molt probablement, a la subcarpeta "Additional Measurements".

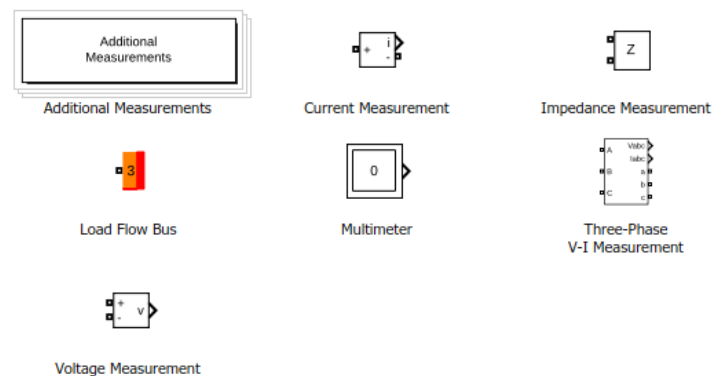


Figura 92 Apartat Measurements Llibreria.

- Sortides de resultats: Per tal de poder veure els resultats s'han d'inserir blocs que permetin convertir els resultats disponibles en formes gràfiques o numèriques que es puguin interpretar. Per això, s'utilitzaran blocs que no es troben en les carpetes de Simscape Electrical. En aquest cas, s'accedirà a la carpeta "Sinks", pròpia de Simulink. Allà es pot elegir entre els diferents tipus de sortides desitjades. Bàsicament, en aquest exemple, s'utilitzaran "Scopes" (permeten veure la sortida gràficament en la mateixa interfície que simulink) i "To Workspace" (envien els resultats a l'espai de treball del MATLAB en el format desitjat).

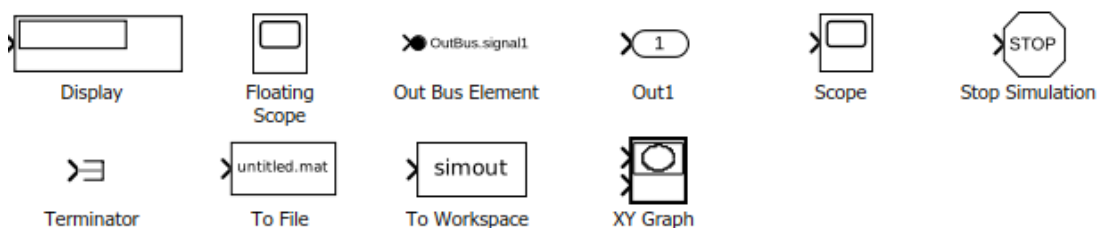


Figura 93 Apartat Sinks Llibreria.

3.3.2 MODIFICACIÓ I UNIÓ D'ELEMENTS

Per tal de modificar els elements inserits en l'apartat anterior, s'ha de fer doble clic sobre seu. Al fer-ho, apareixerà una finestra emergent que permetrà modificar tots els paràmetres disponibles per aquell element.

El generador que representa la xarxa, per exemple, es posarà en mode "Swing", ja que d'aquesta manera la potència subministrada s'adaptarà a les necessitats del sistema. Només s'haurà de definir el seu voltatge.

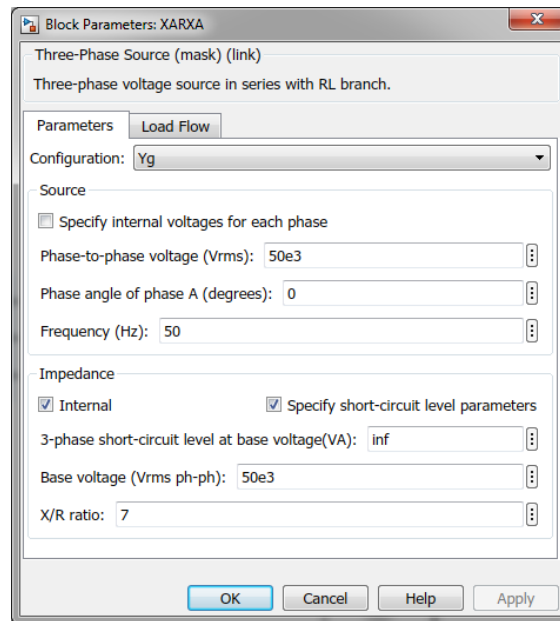


Figura 94 Paràmetres Generador.

Tots els altres elements s'hauran de modificar d'igual manera per tal d'adaptar-los al sistema en qüestió.

Cal esmentar que, mentre que al PowerWorld la majoria d'elements treballen amb p.u.s per defecte, no es dona aquesta situació en Simulink. Per exemple, a les línies, a les quals s'ha d'especificar la seva resistència, reactància i capacítància per cada kilòmetre i, posteriorment, la seva longitud.

Per tal d'unir els elements del sistema s'haurà de fer clic a les seves sortides i dirigir-les a les entrades dels següents elements. D'aquesta manera, quedaran dibuixades unes línies que uniran cada fase dels diferents elements.

És important tenir present que aquestes línies, a diferència del succeït al PowerWorld, no representen línies elèctriques, sinó línies lògiques. Per això, la representació de dos elements units directament per aquestes línies significa que es troben immediatament units en el SEP, per molt llarga que sigui la línia.

El cas similar a l'exemple estudiat en PowerWorld és el de la figura 95.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

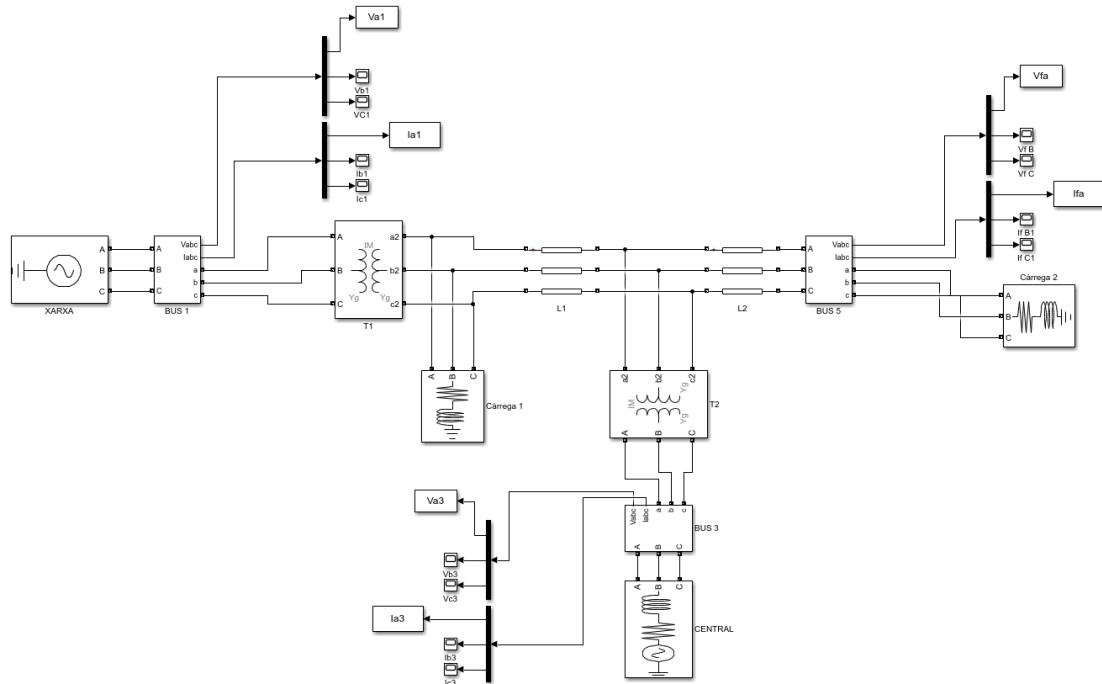


Figura 95 Cas Simulink sense falta.

En Simulink, com s'ha esmentat prèviament en el punt "3.2.1 Inserció d'elements", els busos no existeixen com a tal, sinó que es representen amb blocs de mesura.

Tal com es pot veure en la figura 95, només s'han inserit els busos 1, 3 i 5 (correlatius amb l'exemple anterior a PowerWorld). Els altres busos només són necessaris si es pretén observar els efectes dels transformadors.

En aquest cas, s'han inserit blocs de mesura trifàsics. Per tant, connectant la sortida directament a un "Scope", s'aconseguirà observar la tensió o el corrent de les tres fases alhora. En comptes d'això, es poden realitzar les connexions presents a la figura 95, afegint un element per a separar les tensions i intensitats de cada fase. Aquest element es troba a la carpeta de Simulink "Signal Routing" i s'anomena "Demux".

3.3.3 INSERCIÓ DE LA FALTA

Una vegada s'ha inserit el bloc de falta, esmentat en l'apartat "3.2.1 Inserció d'elements", aquesta es connectarà en paral·lel al lloc desitjat.

Com en l'exemple del Simulink, la falta s'estudiarà a la Línia 2, al 40% de la longitud total de la línia. Per aconseguir això, es dividirà la línia en dos blocs iguals, sent un el 40% de la longitud i l'altre el restant, és a dir, el 60%. Entremig es situarà la falta. Si es pretén estudiar el comportament del corrent i la tensió en la càrrega, els blocs de mesura es situaran allà, i si es vol fer del sistema, es situaran prèviament. El SEP quedarà semblant a la figura 96.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

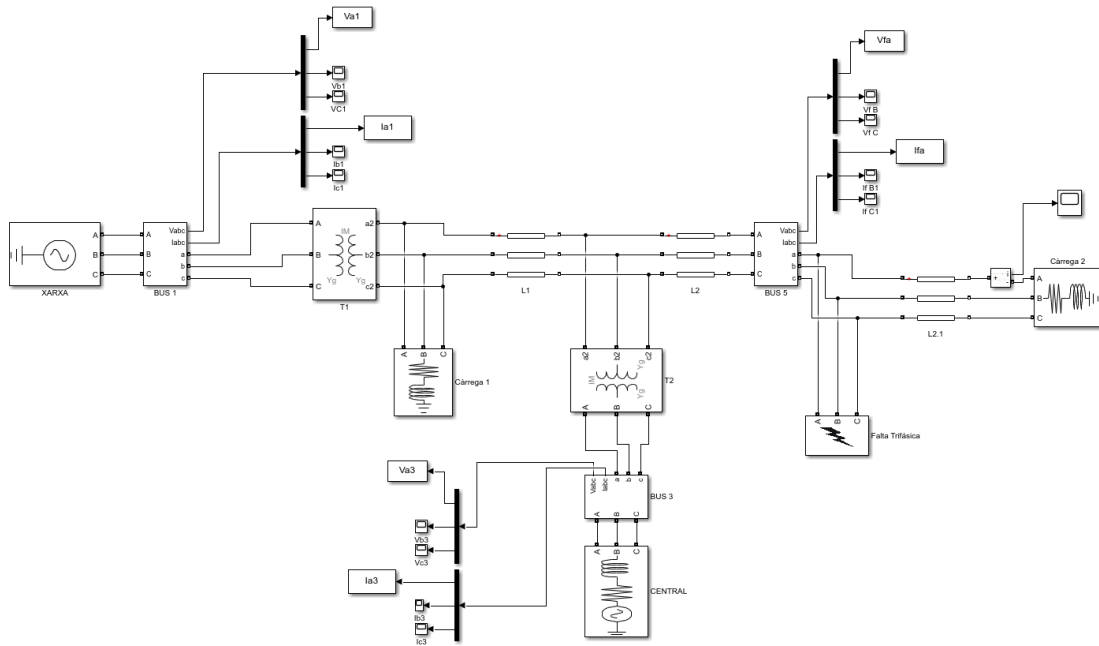


Figura 96 Cas Simulink amb falta.

Com en l'exemple del PowerWorld, es realitzarà un curtcircuit trifàsic, pel que s'ha de comprovar que els paràmetres del bloc de falta siguin correctes. En Simulink també es pot definir la duració en temps que tindrà el curtcircuit. En aquest cas s'estudiarà una falta dels 0,1 segons fins als 0,2 s. Els paràmetres de la falta, per tant, haurien de ser els de la figura 97.

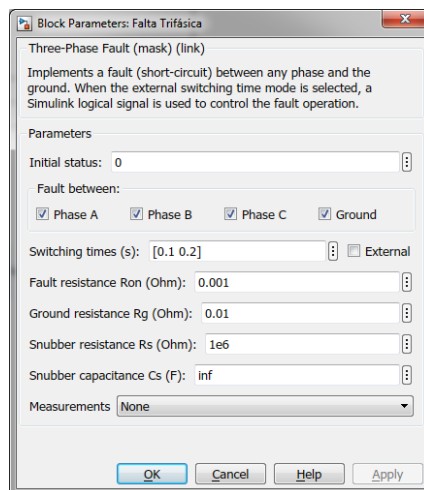


Figura 97 Paràmetres falta.

En el cas de conèixer la resistència de la falta i/o del terra s'hauran d'omplir els requadres "Fault Resistance Ron (Ohm)" i "Ground Resistance Rg (Ohm)", respectivament.

En el cas de que hi hagi un filtre d'amortiguació (Snubber), s'especificaran els seus paràmetres en "Snubber resistance Rs (Ohm)" i "Snubber capacitance Cs (F)".

Un cop seguits tots aquests passos, el SEP quedarà definit i mancarà la simulació.

3.4 SIMULACIÓ I OBTENCIÓ DELS RESULTATS

Tal com s'ha esmentat breument i amb poc detall en l'apartat 3.2.1, hi ha dues maneres de realitzar les simulacions a Simulink.

- Al propi Simulink, a través del botó "Run".
- A través d'un Script a MATLAB.

3.4.1 PASSOS GENERALS

És molt important definir les variables d'aquest apartat correctament, ja que moltes vegades poden portar a errors en la simulació i que aquesta es cancel·li.

Als paràmetres de configuració (l'engrenatge del menú superior) es definiran diferents variables. Primerament, s'establiran el temps d'inici i de fi de la simulació. En aquest exemple s'ha optat per realitzar una simulació de 1,5 segons, començant al segon 0.

Les següents opcions són com el programa, internament, realitzarà la simulació. És a dir, si es desitja que el programa tracti les variables com si el sistema fos continu, o que les tracti com si fos discret. En aquest exemple s'ha seleccionat discret, amb un període de mostreig fix.

Cal esmentar que per cada tipus de simulació apareixeran opcions diferents.

A continuació, es definirà el valor del període de mostreig desitjat ("ts" a la figura 98. Per a saber perquè se l'hi ha assignat una variable a aquest valor, consultar apartat "3.3.3 Simulació a través d'un Script de MATLAB").

The image shows a screenshot of the Simulink configuration window. It is divided into several sections:

- Simulation time:** Contains two input fields. "Start time:" is set to "0.0" and "Stop time:" is set to "1.5".
- Solver selection:** Contains two dropdown menus. "Type:" is set to "Fixed-step" and "Solver:" is set to "discrete (no continuous states)".
- ▼ Solver details:** This section is expanded and contains:
 - Fixed-step size (fundamental sample time):** An input field containing the variable "ts".
 - Tasking and sample time options:** A section with a dropdown menu set to "Unconstrained" and four unchecked checkboxes:
 - Treat each discrete rate as a separate task
 - Allow tasks to execute concurrently on target
 - Automatically handle rate transition for data transfer
 - Higher priority value indicates higher task priority

Figura 98 Paràmetres configuració Simulink.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Un cop siguin correctes els paràmetres de la configuració, s'haurà d'inserir un bloc anomenat Powergui. Aquest bloc fa possible la simulació dels elements que pertanyen a la llibreria de Simscape Electrical. Aquest bloc es troba a Simscape Electrical "Specialized Power Systems", a la carpeta de "Fundamental Blocks". En ell, s'haurà de definir, com en la configuració, el tipus de simulació (contínua, discreta o fasorial). Es recomana elegir el mateix tipus de simulació i establir també el mateix període en el cas de simulació discreta. Si no s'insereix el mateix període, aquest últim ha de ser un múltiple de l'anterior.

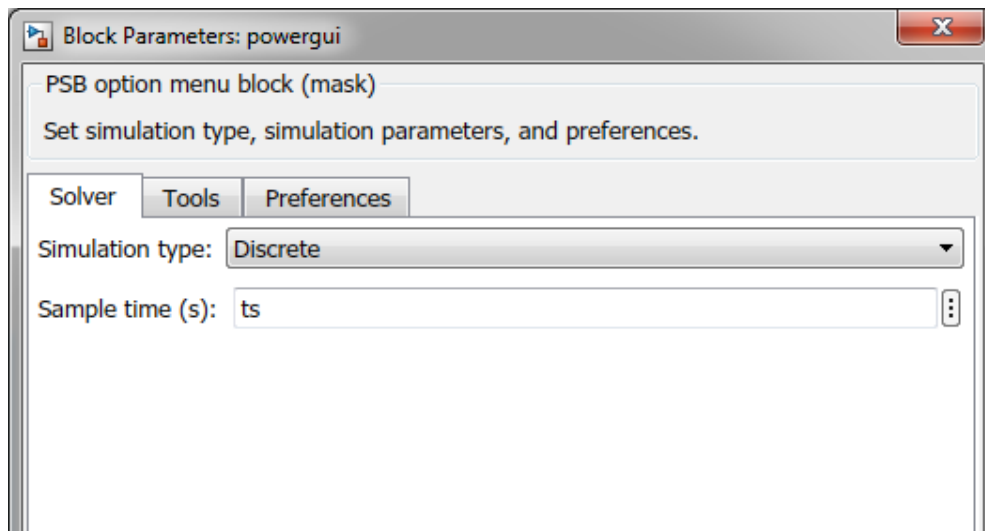


Figura 99 Paràmetres bloc Powergui

3.4.2 SIMULACIÓ A SIMULINK

Un cop realitzats els passos general, es pot realitzar la simulació a Simulink, sempre i quan tot sigui correcte.

Un cop finalitzada, els resultats apareixeran als "Scope" en forma de gràfica. En el cas que es volguessin obtenir resultats numèrics, s'hauria d'inserir altres blocs de sortida de la mateixa carpeta "Sinks", de la pròpia llibreria de Simulink.

3.4.3 SIMULACIÓ A TRAVÉS D'UN SCRIPT DE MATLAB

Mentre que simular a través de Simulink és senzill i ràpid, simular a través d'un Script a Matlab presenta nombrosos avantatges.

La idea és, a través d'un comando anomenat `sim()`, executar la simulació de Simulink, de tal manera que es puguin definir variables al Script i que s'utilitzin durant la simulació i, també, que la simulació envii els resultats a l'espai de treball de Matlab per tal de poder fer càlculs o gràfics amb ells.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

L'objectiu en aquest exemple és poder observar les formes d'ona del corrent i de la tensió d'una manera més definida que a Simulink, així com extreure dades d'aquests.

3.4.3.1 SIMULINK

Primerament, es definiran els paràmetres a establir en els blocs de "To Workspace".

El primer requadre servirà per assignar un nom als resultats que s'enviaran a l'espai de treball de MATLAB. D'aquesta manera, es podrà accedir a aquests resultats a través del nom de la variable.

El que s'haurà de canviar és el format dels resultats. S'establirà com a un Array en 3D. No és la única opció viable. Per tal d'obtenir uns resultats similars, es podria seleccionar el format "Timeseries", el qual també realitza un Array amb els resultats, però a cada valor li assigna el valor de temps que li correspon. En aquest exemple, s'utilitzarà l'Array 3D.

El temps de mostreig ("Sample Time") es definirà com a "ts", com en els casos anteriors. Posteriorment es definirà aquesta variable al Script de MATLAB.

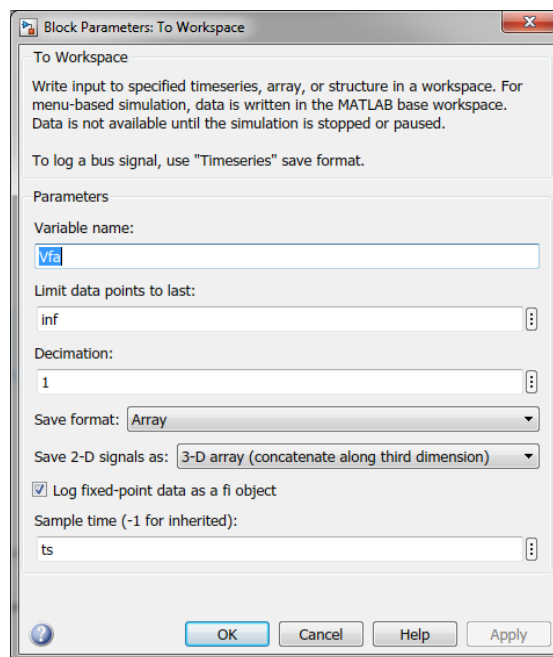


Figura 100 Paràmetres bloc To Workspace.

Aquest procés es repetirà per a tots els blocs "To Workspace".

Com s'ha seleccionat com a format el Array sense marques de temps, s'haurà de generar un Array amb la mateixa quantitat de dades i que contingui els valors de temps. Aquest es generarà inserint un bloc anomenat "Clock", situat a la llibreria de Simulink, a l'apartat "Sources".

Aquest bloc generarà una senyal contínua que representarà el temps, i es convertirà a discreta enviant-la a MATLAB a través del bloc "To Workspace", definint el temps de

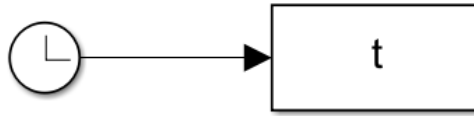


Figura 101 Representació bloc Clock més bloc To Workspace.

3.4.3.2 SCRIPT

El Script s'utilitzarà per a executar la simulació amb la funció `sim()`. Per això, el primer pas a seguir serà definir-la. Així, s'escriurà: `'sim("Nom de l'arxiu Simulink");'`.

Per a poder realitzar el Script de manera correcta, s'ha d'entendre el seu funcionament. MATLAB començarà a llegir el script a la primera línia i, a no ser que hi hagi funcions que facin el contrari, executarà el Script de dalt a baix. Per això, és important definir les variables abans de realitzar la simulació.

Aleshores, es definiran les variables que s'hagin d'enviar a Simulink a sobre de la funció `sim()`. En el cas de l'exemple, es definirà el temps de mostreig: `'ts = 2e-6'`.

A sota de la línia de simulació es recolliran els resultats rebuts de la simulació. En aquest cas, es generaran els gràfics.

S'ha realitzat com s'indica a la figura 101.

```
1 - clc; clear all; close all;
2 - ts = 2e-6;
3 - sim('prova');
4 - subplot(1,2,1)
5 - plot(ans.t,ans.Vfa,'b')
6 - subplot(1,2,2)
7 - plot(ans.t,ans.Ifa,'r')
```

Figura 102 Script Execució.

La primera línia s'utilitza per a reiniciar l'espai de treball de MATLAB, així com els gràfics. D'aquesta manera, quan s'executi múltiples vegades el Script, no hi haurà interferències amb les dades ja existents.

Es podrien afegir totes les variables desitjades a les gràfiques.

Per tal d'executar el Script, tal com s'ha realitzat amb la simulació a Simulink, s'haurà de fer clic al botó "Run" situat al menú superior de l'espai de MATLAB.

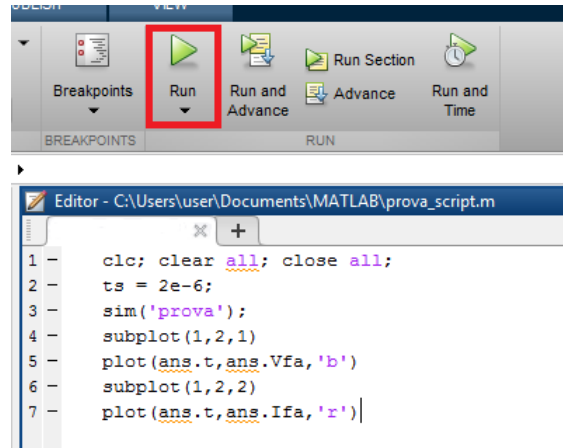


Figura 103 Botó Run Script.

3.5 ANÀLISI DELS RESULTATS

Els resultats obtinguts apareixeran en una finestra emergent i seran similars als de la figura 103.

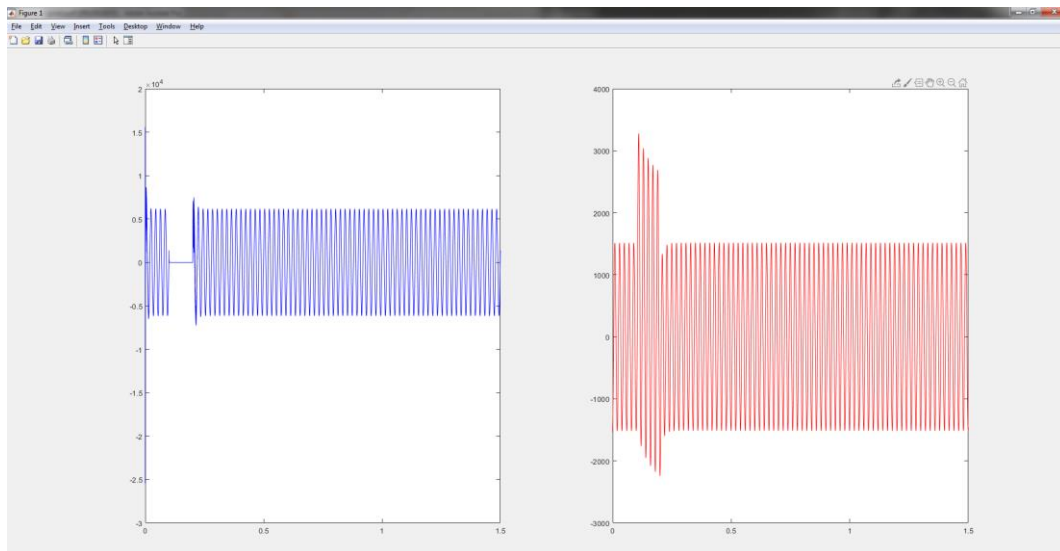


Figura 104 Gràfics Resultats.

Per tal d'obtenir resultats més detallats es pot accedir al desplegable "Tools" del menú superior i seleccionar la opció "Data Statistics". Això generarà una finestra emergent amb diferents valors en relació a les gràfiques, com els valors mínim i màxim i el valor mig, com es mostra a la figura 104.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

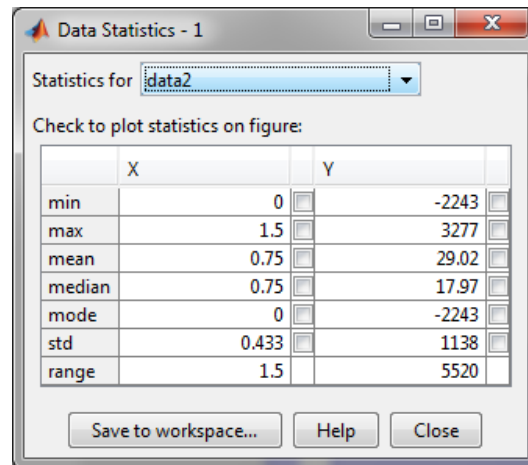


Figura 105 Estadístiques Gràfics Resultats

El desplegable superior permet elegir entre "data1" i "data2", sent el voltatge i el corrent, respectivament.

CONCLUSIONS

En aquest treball s'ha utilitzat el programa PowerWorld per tal de realitzar simulacions de curtcircuit i, posteriorment, s'ha realitzat un procés similar per al MATLAB. Les conclusions que es poden extreure són:

- L'anàlisi dels Sistemes Elèctrics de Potència és un requisit fonamental per a qualsevol enginyer elèctric. PowerWorld fa possible les pràctiques de simulació en un àmbit universitari gràcies a la seva versió d'estudiant. D'aquesta manera es fa possible aplicar els conceptes apresos a les classes de teoria de la forma més interactiva possible, facilitant així que siguin entesos.
- MATLAB no és un programa orientat a la simulació de Sistemes Elèctrics de Potència. Per tant, la seva interfície i entrada de dades són menys intuïtives que en el cas de PowerWorld, en el que la construcció d'un SEP pot ser duta a terme de manera molt ràpida.
- En el cas de MATLAB, funcions que poden resultar simples en PowerWorld, poden resultar complicades de dur a terme. Exemples d'això serien controlar la tensió a un bus per part d'una bateria de condensadors o d'un transformador, realitzar anàlisi de despatx econòmic o de contingència, entre d'altres.
- MATLAB té incorporada la possibilitat de presentar els resultats en forma gràfica, pel que pot resultar més atractiu en diferents situacions. En canvi, PowerWorld, tot i que només presenta els resultats en forma numèrica, són més que suficients per a fer un anàlisi correcte i extens del SEP.

Concloent de forma general, es pot afirmar que PowerWorld és una eina molt potent i còmoda per a realitzar anàlisis de Sistemes Elèctrics de Potència. MATLAB Simulink també és molt potent, però més complicat d'utilitzar, havent inclús de programar les simulacions desitjades. Degut a aquest motiu, les possibilitats en MATLAB són més variades, però més complexes.

AGRAÏMENTS

Vull agrair aquest projecte de fi de grau primerament als meus pares, els quals van presentar comprensió quan vaig sol·licitar l'aplaçament de l'entrega, i que a més a més, m'han animat durant tot aquest any. Per suposat, també vull agrair a l'Enric Ferrer Bardem l'ajuda prestada, tant fos en forma de llibres i documents que m'ajudessin a realitzar el treball, com en forma de idees o respostes als meus dubtes sense presentar cap tipus d'inconvenient.

BIBLIOGRAFIA

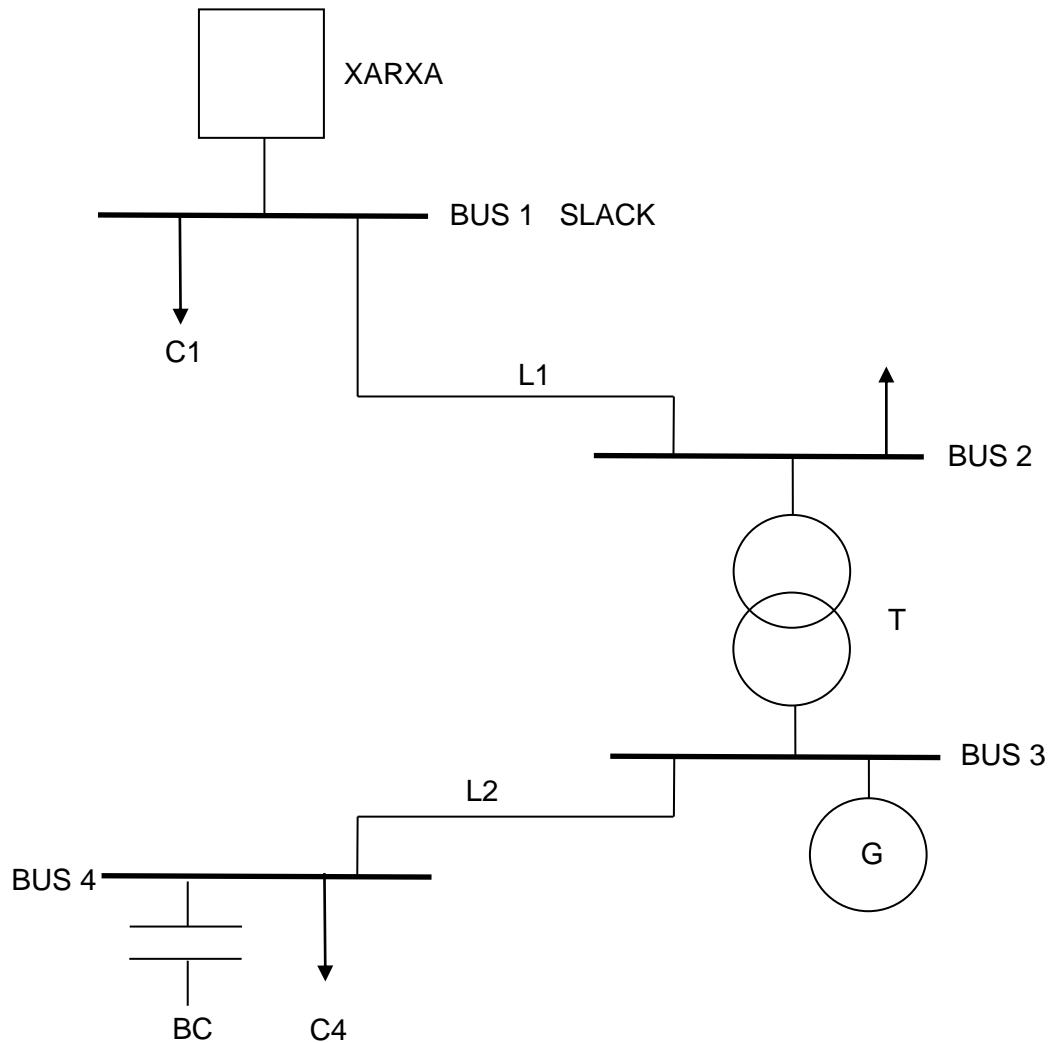
Ma INMMACULADA ZAMORA BELVER, ÁNGEL JAVIER MAZÓN SAINZ-MAZA, ELVIRA FERNÁNDEZ HERRERO, KOLDOBIKA JOSEBA SAGASTABEITIA BURUAGA, IGOR ALBIZU FLÓREZ, PABLO EGUÍA LÓPEZ, ESTHER TORRES IGLESIAS, VÍCTOR VALVERDE SANTIAGO, Simulación de Sistemas Eléctricos. Universidad del País Vasco, Pearson Prentice Hall, 2005, p. 176-181, 230-240, 251-260.

POWERWORLD CORPORATION, 2011, User's Guide PowerWorld Simulator 16

OSCAR EMILIO DÍAZ VANEGAS, JORGE ALEXIS RODRIGUEZ MEZA, Universidad Nacional de Colombia, 2001, Prácticas Computacionales sobre flujos de carga y análisis de corto circuito en sistemas eléctricos de potencia utilizando los programas ETAP PowerStation3.02 y PowerWorld Simulator 7.0.

ANNEX 1: SIMULACIÓ DE FALTES EN POWER WORLD

La figura següent representa un sistema elèctric connectat a la xarxa externa (bus 1) de 20kV i de 500 MVA de potència de curtcircuit.



Esquema 2. SEP Annex 1.

DADES

- Generadors

Bus	Vnominal (kV)	Pmàx(MW)	Pmín (MW)	Qmàx (MVar)	Qmín (MVar)
1	20	500	0	200	-200
3	0.4	0.6	0.1	0.2	-0.2

Taula 12 Dades Generadors Annex 1.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

- Línies

De Bus	A Bus	r (pu)	x (pu)	b(pu)	Límite A (MVA)	Vnom (kV)
1	2	0	0.01	0	20	20
3	4	0.02	0.03	0.3	20	0.4

Taula 13 Dades Línies Annex 1.

- Transformadors

De Bus	A Bus	r (pu)	x (pu)	Vn1 (kV)	Vn2 (kV)	Límit A (MVA)
2	3	0	0.05	20	0.4	20

Taula 14 Dades Transformadors Annex 1.

- Demanda

Bus	P (MW)	Q (MVar)
1	20	4
4	2	0.1

Taula 15 Dades Càrregues Annex 1.

- Bateria de Condensadors

BUS	Q (Mvar)
4	5

Taula 16 Dades BC Annex 1.

- Producció

Bus	P (MW)	Tensió (pu)
1	-	1
4	0.5	1

Taula 17 Dades Producció Annex 1.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

DADES DE FALTA

- Generadors

Bus	x1 (pu)	x2 (pu)	x0 (pu)	xg (pu)
1	0,02	0,02	0,02	0
4	0,16	0,16	0,1	0,025

Taula 18 Dades Falta Generadors Annex 1.

- Transformador

De Bus	A Bus	x1 (pu)	x2 (pu)	x0 (pu)	Configuració
2	3	0	0.05	20	Triangle-Estrella

Taula 19 Dades Falta Transformador Annex 1.

- Línies

De Bus	A Bus	x1 (pu)	x2 (pu)	x0 (pu)
1	2	0,0016	0,0016	0,0056
3	4	0,1	0,1	0,35

Taula 20 Dades Falta Línies Annex 1.

Tenint en compte una potència base de 1 MVA i un curtcircuit trifàsic al bus 4, amb la bateria de condensadors desconnectada, calculeu:

- El flux de potència normal sense tenir en compte el curtcircuit, anotant els voltatges dels busos.
- El voltatge de tots els busos i el corrent que circula per les línies i generadors durant la falta.
- Realitzeu el mateix procediment que a l'apartat 2, però desconnectant aquesta vegada T.

Tornant a connectar T, creieu que una variació de la càrrega abans del curtcircuit variarà les tensions i corrents de falta? Raoneu la resposta.

- Per demostrar-ho, poseu 30MW a C1. Quines són ara les tensions de falta dels diferents busos? I els corrents de falta de les línies?

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

5. Amb la lògica de les respostes anteriors, què succeirà si es varia la càrrega C4? Comproveu-ho.
6. Realitzeu el càlcul de l'apartat 2, però ara amb el condensador connectat de tal manera que la tensió a les barres 4 sense falta sigui de 1 pu. Anoteu les tensions i els corrents de falta.
7. Expliqueu breument les conclusions que heu tret d'aquestes simulacions

Solucions

Seguint els procediments indicats en el punt '2. PowerWorld' per anàlisi de flux i de faltes, s'obté:

Apartat 1		
Bus	Tensions (kVA)	Tensions (pus)
1	20	1
2	19,99	0,999
3	0,4	1
4	0,38	0,95

Taula 21 Solucions apartat 1 Annex 1.

Apartat 2				
Tensions			Corrents	
Bus	Tensions (kVA)	Tensions (pus)	Element	Corrents(A)
1	19,65	0,98243	L1	267,39
2	17,87	0,89371	L2	18943,88
3	0,19	0,47322	Xarxa	740,02
4	0	0	G	5581,79

Taula 22 Solucions apartat 2 Annex 1.

Apartat 3				
Tensions			Corrents	
Bus	Tensions (kVA)	Tensions (pus)	Element	Corrents(A)
3	0,0822	0,2056	L2	8232,53
4	0	0	G	8232,53

Taula 23 Solucions apartat 3 Annex 1.

CÀLCUL DE CORRENTS DE CURTCIRCUIT EN XARXES DE TRANSPORT D'ENERGIA ELÈCTRICA MITJANÇANT POWERWORLD

Albert Murcia Catalan

Tot i que les càrregues no es tenen en compte durant la simulació de curtcircuit, la tensió i els corrents de falta seran diferents. Això és degut a que, per a la simulació de falta, s'utilitzen els valors de la simulació de flux de potència com a estat inicial. Per tant, si aquests valors són diferents, també ho seran els de curtcircuit.

Apartat 4				
Tensions			Corrents	
Bus	Tensions (kVA)	Tensions (pus)	Element	Corrents(A)
1	20	0,9824	L1	267,4
2	19,98	0,8937	L2	189443,82
3	0,4	0,4732	Xarxa	995,7
4	0	0	G	5581,25

Taula 24 Solucions apartat 4 Annex 1.

Apartat 5: També variaran les variables de curtcircuit.

Apartat 6				
Tensions			Corrents	
Bus	Tensions (kVA)	Tensions (pus)	Element	Corrents(A)
1	19,63	0,98155	L1	278,59
2	17,764	0,8882	L2	17716,38
3	0,177	0,4426	Xarxa	741,19
4	0	0	G	3800,9

Taula 25 Solucions apartat 6 Annex 1.

La potència de la bateria de condensadors en aquestes condicions és de 1,5Mvar.

Apartat 7: Es pot concloure que, en el cas de l'apartat 3, l'aïllament de la zona que ha sofert el curtcircuit pot ser una bona mesura de protecció, no només pel transformador que s'ha desconnectat, sinó per la línia curtcircuitada, ja que el corrent ha disminuït molt considerablement.

En el cas de l'apartat 6, disposar d'una bateria de condensadors és útil per augmentar la tensió en càrrega normal i per disminuir el corrent lleugerament en el cas de curtcircuit.

Variar qualsevol càrrega també influeix en l'anàlisi de curtcircuit, ja que modificarà l'estat inicial del sistema.

ANNEX 2: VIDEOGUIA POWERWORLD SIMULATOR

A continuació s'inclouen uns enllaços de la plataforma Youtube on s'han explicat els passos necessaris per a tal de realitzar simulacions de flux de potència i de curtcircuit.

Part 1: Creació del Sistema Elèctric de Potència i simulació de flux de potència.

<https://www.youtube.com/watch?v=nJLMm6ZWpZI&feature=youtu.be>

Part 2: Definició dels paràmetres seqüencials i simulació de curtcircuit.

2.1: <https://www.youtube.com/watch?v=BKGYhrJxsVU>

2.2: <https://www.youtube.com/watch?v=yd7OrJTcSIY&feature=youtu.be>